

Remerciements :

Je remercie ceux qui m'ont fait confiance, qui m'ont montré le chemin : nos encadreurs M.Guitarni Islam et Mme Aissani Nassima ,la team Medgaz ainsi que les enseignants qui ont bien fait leur travail.

J'ai une pensée pour mon père, ma mère, mon frère, mes proches. Enfin, toutes mes pensées vont à ma mère, pour son dévouement éternel, ses sacrifices et son attention sans limite depuis le début de mon cursus. Elle est toujours à mes côtés. Je lui dédie ce projet de fin d'étude.

Maintenant j'en profite pour remercier mes collègues de l'IMSI, pour leur sympathie et l'ambiance amicale.

Abdelkarim Yadi

Je remercie ceux qui m'ont fait confiance, qui m'ont montré le chemin : nos encadreurs M.Guitarni Islam et Mme Aissani Nassima ,la team gnl2 ainsi que les enseignants de l'IMSI.

J'ai une pensée pour mes parents, mes frères, mes proches et mes amis. Enfin, toutes mes pensées vont à mon père. il est toujours à mes côtés. Je lui dédie ce projet de fin d'étude.

Maintenant j'en profite pour remercier mes collègues de l'IMSI, pour leur sympathie et l'ambiance amicale.

Hadj Abdelkader Yagoubi

Résumé :

La présence des risques liés aux procédés dans l'industrie pétrolière et gazière est en hausse avec l'augmentation des implantations industrielles dans le monde moderne. Cependant, vu l'impossibilité de fournir les informations de manière exhaustive sur les risques ; Dans cette recherche on relève seulement les dangers les plus critique et avec une probabilité d'occurrence élevé.

L'évaluation des risques est essentielle pour assurer la sécurité dans les zones industrielles a haut risque. Toutefois, cette recherche vise à prêter attention à l'évaluation des risques, relever les pratiques actuelles d'évaluation les plus performantes. Pour atteindre un résultat efficace et garantir la sécurité.

Cette recherche présente des études de cas dans deux site industriel en Algérie (station de compression et de transport Medgaz et complexe Sonatrach gl2) illustrant les limites des méthodologies actuelle HAZOP,APR ,AMDEC ,arbre des causes et arbre de défaillance ; des problèmes pour combiner les résultats des méthodes d'analyse des risques d'AMDEC, arbre de défaillance en une analyse de nœud de papillon et des problèmes pour combiner les résultats des méthodes d'analyse des risques d'APR, HAZOP pour rationaliser l'analyse des risques du processus .

Les processus modernes sont devenus plus compliqués. Par conséquent, la portée actuelle de la méthode d'analyse des risques est presque complète. Afin de faire face à la nécessité d'analyser les processus modernes, cette recherche montre comment analyser les risques par un logiciel d'analyse dynamique (Phast) , offrant ainsi un aperçu graphique des résultats et la prise en compte du déroulement de l'événement redouté dépendant de la défaillance.

Abstract :

The presence of process-related risks in the oil and gas industry is increasing with the increase of industrial plants in the modern world. However, given the impossibility of providing exhaustive information on risks; In this research only the most critical hazards are identified and with a high probability of occurrence.

Risk assessment is essential to ensure safety in high-risk industrial areas. However, this research aims to pay attention to risk assessment, to highlight the current best performing evaluation practices. To achieve an effective result and guarantee security.

This research presents case studies in two industrial sites in Algeria (Medgaz compression station and Sonatrach gl2 complex) illustrating the limitations of the current methodologies HAZOP, APR, FMECA, cause tree and failure tree; problems to combine the results of FMECA risk analysis methods, failure tree into a butterfly node analysis and problems to combine the results of APR risk analysis methods, HAZOP to streamline the risk analysis of the process.

Modern processes have become more complicated. As a result, the current scope of the risk analysis method is almost complete. In order to cope with the need to analyze modern processes, this research shows how to analyze by dynamic analysis software (Phast), thus providing a graphical overview of the results and taking into account the progress of the event depending on the failure.

ملخص:

يزداد وجود المخاطر المرتبطة بالعملية في صناعة النفط مع نمو المنشآت الصناعية في العالم الحديث. ومع ذلك ، بالنظر إلى استحالة توفير معلومات شاملة عن المخاطر ؛ في هذا البحث ، يتم تحديد المخاطر الأكثر أهمية فقط مع وجود احتمال كبير لحدوثها. تقييم المخاطر ضروري لضمان السلامة في المناطق الصناعية عالية الخطورة. ومع ذلك ، يهدف هذا البحث إلى الاهتمام بتقييم المخاطر ، لتبسيط الضوء على أفضل ممارسات التقييم الحالية أداءً. لتحقيق نتيجة فعالة وضمان الأمن.

قدم هذا البحث دراسات حالة في موقعين صناعيين في الجزائر (محطة ضغط و نقل الغاز Medgaz ومجمع Sonatrach gl2) توضح حدود المنهجيات الحالية APR ,FMECA ,HAZOP شجرة السبب وشجرة السليبيات ؛ تقدم هذه الورقة ملخصاً لنتائج طرق تحليل المخاطر ، لتبسيط هذه العملية.

أصبحت العمليات الحديثة أكثر تعقيداً. لذلك يبدوا النطاق الحالي لتحليل المخاطر مكتملاً تقريباً. التدرج في مجال التحليل بواسطة البرنامج الإلكتروني (Phast) يسهل العملية، و يوفر نظرة بيانية للنتائج ومراعاة التقدم المحرز لهذه الأحداث الخطيرة اعتماداً على السليبيات.

Sommaire

Liste des figures et tableaux	7
Introduction	10
Chapitre I : Risques majeurs inhérent de l'industrie pétrolière et gazière	
Introduction.....	12
1.Risque incendie et explosion	12
1.1 Triangle de feu et conséquences potentielles des explosions et du rayonnement thermique	12
1.2 Explosions	12
1.3 boil-over	13
1.3.1 boil-over « classique ».....	13
1.3.1 boil-over couche mince	14
1.4 Rayonnement thermique.....	15
1.5 BLEVE.....	15
1.6 Explosion de nuage de vapeur confinée (CVCE)	18
1.7 Explosion de nuages de vapeur non confinés (UVCE)	18
1.8 Foudre.....	19
Conclusion.....	20
Chapitre II : L'évaluation des risques	
Introduction.....	21
1 Techniques d'évaluation des risques général.....	21
2 Acceptabilité du risque.....	24
2.1 Echelles et comparaison des risques.....	24
2.2 Echelles de gravité et de probabilité.....	24
2.3. Criticité du risque.....	24
2.4. Criticité et risque moyen.....	27
3 Processus de maîtrise de risque	28
Introduction	28
3.1 Pertinence des actions	28
3.2 Précaution et son principe	28
3.3 Prévention.....	28
3.4 Protection.....	29
Conclusion.....	30
Chapitre III : Méthodes d'analyse des risques	
1 Définition du système	31
Introduction	31
1.1 Limites du système	31
1.1.1 Définition d'un système.....	31
1.1.2 Echelles de l'étude	32
1.1.3 Liaisons et interactions entre produit et environnements.....	32
1.2 Echelles de l'étude	33
1.3 Liaisons et interactions entre produit et environnements.....	34
2 Méthodes d'analyse des risques.....	35
Introduction	35
2.1. Typologie des méthodes d'analyse des risques	35

2.1.1 méthodes qualitatives et quantitatives	35
2.1.2 méthodes inductives et déductives	36
2.1.3 méthodes statiques et dynamiques	36
2.2. Liste des méthodes d'analyse des risques	36
2.3 Présentation détaillée des méthodes d'analyse de risques.....	37
2.3.1 Méthode de l'Arbre des causes.....	37
2.3.2 Méthode de l'Arbre de Défaillance ou de Défaut ou de Faute.....	41
2.3.3 Méthode de l'Arbre des Conséquences ou Arbre d'Événement.....	47
2.3.4 HAZard and OPERability HAZOP	50
2.3.5 Analyse Préliminaire des Risques / Dangers.....	53
2.3.6 Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC).....	55
Conclusion.....	58
Chapitre IV : Démonstration d'analyse des risques	
Introduction.....	59
1. Présentation de l'entreprise n°1 MEDGAZ	59
1.2 Associés	59
1.3 Fiche technique.....	60
1.4. Organisation	60
1.5 Histoire	60
1.6 Le plan du site de benisaf	61
1.7. Description générale de l'installation.....	61
2. Application des méthodes d'analyse	61
2.1 Limitation champ d'études.....	61
A. Présentation des filtres séparateurs.....	61
B. Vérification procédures de travail et mesures de sécurité existants	62
C. Plan de filtre (catridge filter)	65
D. La Matrice des risques.	66
2.2. Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)	67
2.3 Nœud de papillon d'événements indésirables principaux	81
2.4 Arbre de défaillance : Fuite de gaz naturel sur canalisation et filtre	82
2.5 Arbre de défaillance : Rupture de piquage ou petite brèche sur installation.....	83
2.6 Arbre de défaillance : Rejet à l'événement de soupape	84
2.7 Arbre de défaillance : Identification des sources d'inflammation potentielles	84
.....	
3. Présentation de l'entreprise n°2 complexe Sonatrach gl2.....	85
Introduction.....	85
3.1 Historique du complexe GL2/Z	86
3.2 Situation géographique du complexe GL2/Z	86
4. Application de la méthode APR.....	88
4.1 Limitation champ d'études.....	88
4.2 Analyse avec la méthode APR.....	90
5. Application de LA méthode HAZOP.....	103
5.1 Etapes de la Méthode d'analyse HAZOP.....	103
5.2 Limitation champ d'études.....	103
5.3 Bilan d'analyse de la méthode HAZOP.....	104
Conclusion n°1.....	112
6. Analyse des risques du processus par logiciel Phast.....	113

Introduction	113
6.1 Les données de références	113
6.2 Paramètres généraux de modélisation.....	113
6.3 SCENARIO: Perte de confinement dans la ligne de fuel gaz près de la chaudière	114
6.3.1 Equipements étudiés dans le scénario.....	114
6.3.2 Résultat de la simulation.....	114
6.3.3 Description des événements redoutés.....	114
6.3.4 Distances d'effets.....	114
6.3.5 Analyse des conséquences	114
A. Rupture catastrophique.....	114
B. Fuite 50mm	120
C. Fuite 200mm	124
Conclusion n°2	132
Conclusion.....	133
Annexe 1.....	135
Annexe 2.....	143
Annexe 3.....	155
Bibliographie.....	158

Liste des figures et tableaux

Chapitre 1 : Risques majeurs inhérent de l'industrie pétrolière et gazière

Liste des figures

Figure I-1 Triangle de feu Source: Wise Global Training

Figure I-2 Boil-over classique

Figure I-3 Boil-over couche mince

Figure I-4 Courbe de tension de vapeur saturante et de droite limite de surchauffe

Figure I-5 Etapes de développement d'un BLEVE « chaud »

Figure I-6 Effets thermiques du BLEVE froid et BLEVE chaud

Figure I-7 Foudre

Chapitre II L'évaluation des risques

Liste des figures

Figure II-2 Diagramme de Farmer

Figure II-1 Diagramme de Farmer : actions de prévention.

Liste des tableaux

Tableau II-1 Exemple d'échelle de gravité des conséquences

Tableau II-2 échelle de probabilités, fréquences ou vraisemblances de 3 à 5 échelons

Tableau II-3 : Exemple d'échelle de criticité.

Chapitre III Méthodes d'analyse des risques

Liste des figures

Figure III-1 : Représentation du produit et de ses environnements

Figure III -2 : Exemple d'arbre des causes pour le cas d'une chute dans un escalier

Figure III -3 : Distinction entre arbres de défaillance, des causes et d'événements

Figure III -4 : Exemple d'arbre de défaillance effondrement échafaudage

Figure III -5 : Schématisation d'un arbre d'événement

Figure III -6 : Arbre d'événement quantifié d'un "tuyau de gaz arraché"

Figure III -7 : Principales phases d'une démarche d'AMDEC

Liste de tableaux

Tableau III-1 les principales méthodes d'analyses des risques

Tableau III-2 Principaux symboles d'un arbre de défaillance

Tableau III-3 Exemple pour l'HAZard and OPerability

Tableau III-4 Exemple de mots-clés pour l'HAZard and OPerability

Tableau III-5 Tableau d'HAZOP d'un climatiseur - convecteur

Tableau III-6 Exemple de tableau d'analyse préliminaire de risques (Leroy, 92)

Tableau III-7 Analyse préliminaire de danger de la réalisation d'un mur en béton armé banché

Chapitre IV Démonstration d'analyse des risques

Liste des figures

Figure IV-1 Diagramme des sociétés constituant Medgaz

Figure IV-2 Organigramme de l'administration

Figure IV-3 Plan satellite du site de MEDGAZ

Figure IV-4 Filtre a gaz Medgaz Benisaf

Figure IV-5 Detecteurs de feu et detecteur de gaz

Figure IV-6 Station anti incendie

Figure IV-7 Plan de filtre (catridge filter)

Figure IV-8 Présente un nœud papillon des événements indésirables

Figure IV-9 Arbre de défaillance 1 << Fuite de gaz naturel sur canalisation et filtre
Figure IV-10 Arbre de défaillance 2 <<Rupture de piquage ou petite breche sur installation>>
Figure IV-11 Arbre de défaillance 3 <<Rejet a l'évent de soupape>>
Figure IV-12 Arbre de défaillance 4 <<Identification des sources d'inflammation potentielles >>
Figure IV-13 :Vue globale du site de GNL2/Z
Figure IV-14 : Cartographie de la zone industrielle Arzew
Figure IV-15 : Situation géographique de complexe GNL2/Z
Figure IV-16: champ d'étude de la Chaudière IHI
Figure IV-17 :affiches consignes et mesures de sécurité
Figure IV-18 Concentration vs Time at Given Distance
Figure IV-19 Centreline Concentration vs Distance
Figure IV-20 Radiation vs Distance for Fireball
Figure IV-21 Intensity Radii for Fireball
Figure IV-22 Intensity Radii for Fireball satellite view
Figure IV-23 Early Explosion Overpressure Radii
Figure IV-24 Early Explosion Overpressure Radii Satellite view
Figure IV-25 Late Explosion Worst Case Radii
Figure IV-26 Late Explosion Worst Case Radii Satellite view
Figure IV-27 Flash Fire Envelope
Figure IV-28 Flash Fire Envelope Satellite view
Figure IV-29 Centreline Concentration vs Distance
Figure IV-30 Radiation vs Distance for Jet Fire
Figure IV-31 Intensity Radii for Jet Fire
Figure IV-32 Intensity Radii for Jet Fire Satellite view
Figure IV-33 Late Explosion Worst Case Radii
Figure IV-34 Late Explosion Worst Case Radii Satellite view
Figure IV-35 Flash Fire Envelope
Figure IV-36 Flash Fire Envelope Satellite view
Figure IV-37 Centreline Concentration vs Distance
Figure IV-38 Radiation vs Distance for Jet Fire
Figure IV-39 Intensity Radii for Jet Fire
Figure IV-40 Intensity Radii for Jet Fire Satellite view
Figure IV-41 Radiation vs Distance for Fireball
Figure IV-42 Intensity Radii for Fireball
Figure IV-43 Intensity Radii for Fireball Satellite view
Figure IV-44 Early Explosion Overpressure vs Distance
Figure IV-45 Early Explosion Overpressure Radii
Figure IV-46 Early Explosion Overpressure Radii Satellite view
Figure IV-47 Late Explosion Worst Case Radii
Figure IV-48 Late Explosion Worst Case Radii Satellite view
Figure IV-49 Flash Fire Envelope
Figure IV-50 Flash Fire Envelope Satellite view

Liste des tableaux

Tableau IV-8 Matrice des risques
Tableau IV-2 Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)
Tableau IV-3 Analyse avec la méthode APR
Tableau IV-4 Analyse avec la méthode HAZOP

Tableau IV-5: Conditions atmosphériques pour simulation

Introduction :

Acteur de l'industrie pétrolière et gazière, les deux principales préoccupations de l'industrie en Algérie sont d'assurer un haut niveau de sécurité de ces installations et de maximiser la rentabilité de sa production. Et ce, en tenant compte des réglementations nationales et internationales notamment sur le plan environnemental.

L'évolution de l'industrie, son développement en particulier dans le domaine oil and gas ainsi que la variété et la complexité des procédés et des installations industrielles, ont mené à la survenue de scénarios catastrophiques majeurs tels que les incendies, les phénomènes de BLEVE (vaporisation violente à caractère explosif) , d' UVCE (Explosion d'un nuage de gaz ou des vapeurs), boule de feu, feu chalumeau ainsi que les Effets domino entraînant de grave conséquence sur l'homme, les installation, l'environnement et l'économie par exemple les cas de Skikda 01/2004 : Explosion Complexe GL1K 27 morts, 74 blessés, + 900 millions \$. Et 10/2005 : Boil-over Terminal RTE 2 morts, 7 blessés, + 6 millions \$.

A cet effet il est important de mettre en place des barrières de sécurité afin de contrôler les risques qui en résulte et à trouver les solutions pour accroître la sécurité, l'efficacité et la conformité de ce type d'industrie. D'où est pertinent de s'intéresser davantage à la gestion des risques et de la sécurité dans cet environnement industriel.

La démarche d'une mise en œuvre du principe de la prévention est basée sur la proposition d'une succession d'actions, qui seront sous-tendues par la réalisation d'une évaluation <a priori> des risques, et la formalisation des résultats de cette évaluation. Toutefois les différentes méthodes d'analyse sont utilisées non seulement pour identifier les risques à l'origine de dommages potentiel mais aussi pour proposer des solutions réelles et applicable en prenant en considération les notions qualité, prix et surtout sécurité.

Afin d'établir une étude de danger concrète et approfondie proposant des barrières de sécurité de haute qualités avec comme objectif principale de délimiter les scénarios catastrophiques les plus désastreux, il est primordial de passer par une variété de méthodes d'analyses de risque , chacune de ces méthodes a son propre domaine d'utilisation et surtout une certaine manière de procéder, Dans ce cas la question qui se pose est ; quel méthode doit ont choisir dans l'industrie pétrolière et gazière ? est ce que ces méthodes sont suffisantes pour déterminer les mesures nécessaire ou bien doit on les accompagner par des modélisations numériques plus avancées afin de mieux maitrisées la situation .

Afin de répondre a cette problématique , ce travail de fin d'étude a pour principal objectif d'établir une étude de danger pour évaluer les risques présents dans l'industrie oil and

gas et proposer les barrières de sécurité efficaces les plus appropriées ,non seulement au regard des risques industriels présentés par l'activité de l'entreprise, de ses installations, de son environnement, mais également en fonction de présence de salariés sur le site. les mesures de prévention identifiées devront être en cohérence avec les barrières de protection figurant dans l'étude de danger.

Afin de bien mener notre mission nous allons travailler sur deux équipements différents, le premier est un filtre a gaz installé dans une unité de compression et de transport de gaz vers l'Espagne 'Medgaz' ou on vas utiliser la méthode AMDEC pour établir les modes de défaillance de chaque équipement composant le filtre , par la suite l'utilisation du nœud papillon aura pour but de trouver les scénarios catastrophiques qui peuvent survenir a partir des causes de défaillance déterminé par l'AMDEC , En derniers lieu, des mesures de prévention robuste sont proposées pour garantir la sécurité de cette installation.

En deuxième cas nous avons travaillé sur la chaudière IHI installée dans un complexe de liquéfaction de gaz naturel ou on a utilisé les méthodes APR et HAZOP pour déterminer les scénarios les plus catastrophiques qui peuvent survenir dans ce complexe, et en fin, les modéliser par le logiciel Phast afin de proposer des solutions performantes pour garantir la sécurité.

Introduction :

L'industrie pétrolière et gazière comporte de nombreux dangers, l'évaluation des risques est effectuée pour veiller à ce que des mesures de contrôle de risques soient mis en place afin d'empêcher l'occurrence de ces dangers et de maintenir un environnement de travail sûr. Par conséquent, il est important de connaître la signification et la pertinence des termes courants utilisés dans l'industrie en relation avec les dangers du secteur pétrolier et gazier. Les informations suivantes couvrent certains des termes de base utilisés.

1. Risque incendie et explosion :

1.1 Triangle de feu et conséquences potentielles des explosions et du rayonnement thermique :

Le feu peut être défini comme «l'oxydation rapide d'un matériau ou d'une substance». Ceci est connu sous le nom de combustion, qui libère de la lumière, de la chaleur et divers produits de réaction tels que la fumée et les gaz.

Le feu est composé de trois éléments interdépendants appelés triangle de feu. Ceux-ci sont:

- Chaleur ou source d'inflammation
- Carburant
- Oxygène

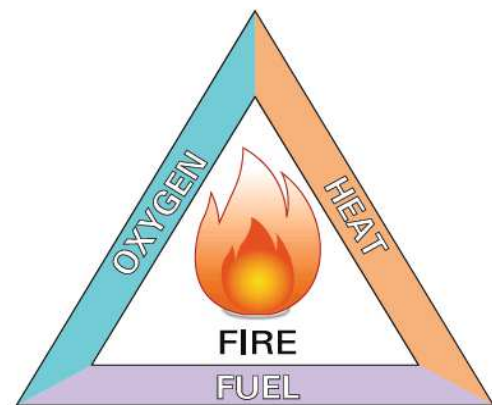


Figure I-1 Triangle de feu

Le triangle du feu est une façon de comprendre la manière dont ces éléments, indispensables à la plupart des incendies, sont corrélés.

Le triangle montre que pour que la combustion commence (et continue à le faire), il faut trois éléments: la chaleur, le carburant et un agent oxydant (généralement de l'oxygène - mais pas toujours). Un incendie se produit naturellement lorsque ces éléments sont réunis dans les bonnes proportions.

Vous pouvez prévenir ou éteindre un incendie en supprimant l'un de ces éléments.

De même, il est possible de prévenir les incendies en isolant quelconque de ces éléments, en particulier le combustible et l'allumage.

Il est important de se rappeler que seule la vapeur d'un carburant brûle réellement. Avant la combustion, un solide ou un liquide doit être chauffé à un point auquel la vapeur se dégage et que celle-ci puisse s'enflammer.

1.2 Explosions

Une explosion est un type d'incendie, mais qui brûle avec une force si rapide qu'elle provoque un effet appelé surpression (explosion). Dans certaines conditions, la vitesse de l'avant de la flamme peut atteindre un niveau supersonique, ce qui entraîne une explosion

nettement plus puissante.

Trois types d'explosion sont associés à l'industrie pétrolière et gazière:

1 BLEVE : Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion, ou Vaporisation explosive d'un liquide porté à ébullition.

2 Explosion de nuage de vapeur confinée (CVCE)

3 Explosion de nuages de vapeur non confinés (UVCE)

1.3 boil-over :

1.3.1 boil-over « classique »

Un boil-over est un phénomène de moussage brutal impliquant des réservoirs atmosphériques et résultant de la transformation d'eau liquide contenue dans un réservoir en feu en vapeur (fond d'eau, eau libre, émulsion) .

Ce phénomène est à l'origine de violentes projections de combustible, du bouillonnement du contenu du bac, de l'extension des flammes et de la formation d'une boule de feu.(enchaînement des différentes phases en figure 3 Pour survenir, il était couramment admis que l'hydrocarbure doit principalement satisfaire deux critères :

*une plage de températures d'ébullition s'étendant sur 60 °C au-delà de la température d'ébullition de l'eau à la pression d'interface hydrocarbure/fond d'eau, soit au-delà de 393°K,

*une viscosité cinématique supérieure à celle du JET-A1 à 393°K, soit $\nu_{HCp} > 0,73$ cSt. Le boil-over « classique »



En début d'incendie du bac, le produit occupe tout le volume du bac avec une composition quasi homogène.



En raison du rayonnement des flammes sur la surface du liquide, le liquide subit une distillation qui conduit à la séparation des coupes légères des coupes plus lourdes. Ces dernières descendant progressivement vers le fond du bac sous l'effet de la pesanteur, c'est la formation d'une onde de chaleur



Ce phénomène perdure jusqu'à ce que les coupes les plus lourdes (onde de chaleur), atteignent l'eau située au fond du bac. Cette onde de chaleur a une température de l'ordre de 200 °C.



Le contact entre l'onde de chaleur et l'eau provoque la vaporisation de cette dernière. Cette vaporisation brutale conduit à une augmentation importante de volume et joue le rôle de piston en mettant en suspension le liquide inflammable restant dans le bac.



Une partie du liquide déborde du bac et une autre est mise en suspension en se fragmentant en gouttes et en se vaporisant en traversant les flammes pour former une boule de feu lors de sa combustion.

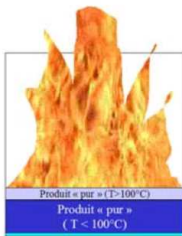
Figure I-2 Boil-over classique

1.3.1 boil-over couche mince :

Voici les différentes étapes conduisant à un boil-over en couche mince



En début d'incendie du bac, le produit qui occupe le volume du bac a une composition homogène qui le restera tout au long de l'incendie. En revanche, un gradient de température apparaît et une zone où la température est supérieure à 100°C d'épaisseur limitée peut être identifiée.

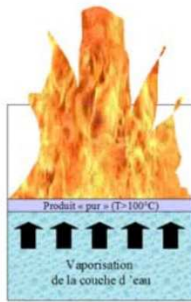


En raison du rayonnement des flammes sur la surface du liquide, le liquide subit une augmentation locale de température sans modification de composition. Il n'y a pas de formation d'onde de chaleur.



La zone chaude ($T > 100^\circ\text{C}$) peu épaisse progresse vers le fond du bac à mesure que le produit se consume à la même vitesse que la surface du liquide.

Une fois que tout le combustible située en dessous de cette zone de température supérieure à 100°C a été consommée, il y a contact entre l'eau et cette zone.



Le contact entre le combustible chauffé à plus de 100°C et l'eau provoque la vaporisation de cette dernière. Cette vaporisation brutale conduit à une augmentation importante de volume et joue le rôle de piston en mettant en suspension le liquide inflammable restant dans le bac.

Une partie du liquide déborde du bac et une autre est mise en suspension en se fragmentant en gouttes et en se vaporisant en traversant les flammes pour former une zone de combustion vive.

Figure I-3 Boil-over couche mince

1.4 Rayonnement thermique

Le rayonnement thermique est le transfert de chaleur d'une source à une autre. Cela peut être une structure ou une personne. Lorsque le destinataire est une personne, les conséquences peuvent être graves. L'effet initial de l'exposition à une source de chaleur (feu) est de réchauffer la peau. Cela devient alors douloureux à mesure que la quantité d'énergie absorbée augmente. Par la suite, les brûlures au deuxième degré commencent à produire leurs effets, la profondeur de la brûlure augmentant avec le temps pour obtenir un niveau de rayonnement constant. En fin de compte, toute l'épaisseur de la peau brûlera et la chair sous-jacente commencera à être endommagée, entraînant des brûlures au troisième degré. Lorsque l'installation, y compris la tuyauterie et les cuves, est exposée à un rayonnement thermique, il en résulte un transfert de chaleur vers le produit situé à l'intérieur de l'installation. Cela peut modifier les caractéristiques du produit et le rendre moins stable. Ces caractéristiques incluent, entre autres, le potentiel d'expansion du produit et / ou l'augmentation de la quantité de vapeur émise. Cela peut entraîner une perte de confinement, avec pour conséquence une explosion de nuage de vapeur, un feu à jet, feu de nappe ou un feu liquide.

1.5 BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion, ou Vaporisation explosive d'un liquide porté à ébullition):

1.5.1 Définition :

Le BLEVE peut-être défini comme la **vaporisation violente à caractère explosif consécutive à la rupture d'un réservoir contenant un liquide à une température significativement supérieure à sa température d'ébullition à la pression atmosphérique.** Tous les stockages de gaz liquéfiés sous pression sont susceptibles d'être le siège d'un BLEVE.

En effet, le BLEVE est associé avant tout à un changement d'état à caractère explosif, et non à une réaction de combustion. Aussi, il n'est pas nécessaire que le produit concerné soit inflammable pour parler de BLEVE.

Les effets d'un BLEVE sur l'environnement se manifestent généralement de trois manières :

- **Effets de pression** : propagation d'une onde de surpression ,
- **Effets missiles** : projection de fragments à des distances parfois très importantes,
- **Effets thermiques** : dans le cas d'un BLEVE de gaz liquéfié inflammable, rayonnement de la boule de feu.

1.5.2 Théorie :

La théorie du BLEVE fait appel à la notion de température limite de surchauffe (TLS).

Lorsqu'on transfère, à pression donnée, de la chaleur à un liquide, celui-ci subit une augmentation de température, jusqu'à atteindre son point d'ébullition et à former des bulles de vapeur qui se développent sur les sites actifs que sont les impuretés et les interfaces avec les parois. Lorsqu'il n'y a pas suffisamment de sites de nucléation dans le liquide, le point d'ébullition peut être dépassé sans qu'il n'y ait d'ébullition. Dans ce cas, le liquide est dit surchauffé.

Il existe cependant une limite de température, à une pression donnée, au-delà de laquelle se développent des bulles de vapeur dans tout le liquide, même en l'absence de sites de nucléation. Cette limite est la température limite de surchauffe.

Considérons, un gaz liquéfié pur à l'équilibre thermodynamique dont l'état est présenté par le point A. Si on lui fournit de la chaleur, le point représentatif de son état se déplace sur la courbe de vapeur saturante jusqu'à rejoindre le point B. Le gaz peut alors passer, par dépressurisation brutale, à l'état représenté par le point E en restant, au moins momentanément, surchauffé, à l'état liquide avant de se vaporiser plus ou moins rapidement. En revanche, un gaz dont l'état est représenté par le point C de la courbe de tension de vapeur, qui est dépressurisé brutalement à la pression atmosphérique (point D) subit une vaporisation homogène, rapide et totale à caractère explosif, car il ne peut subsister à l'état liquide à une température supérieure à sa température limite de surchauffe.

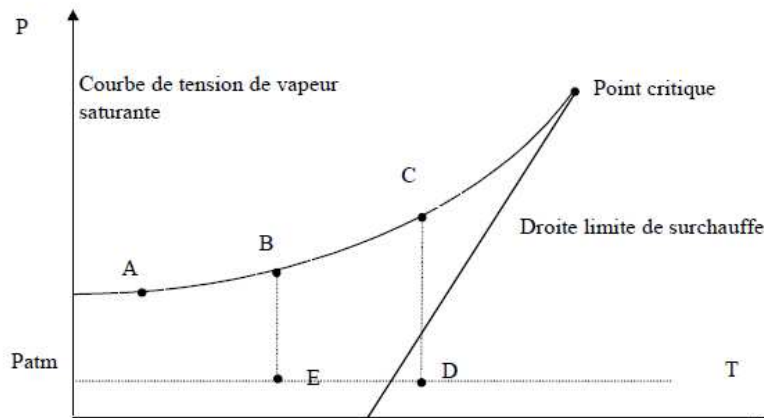


Figure I-4 : Courbe de tension de vapeur saturante et de droite limite de surchauffe

La notion de BLEVE froid ou chaud se réfère uniquement à la température limite de surchauffe (TLS) du produit :

- la transformation B-E, qui se produit **en dessous de la température limite de surchauffe à pression**

atmosphérique, est généralement appelée « **BLEVE froid** ».

- la transformation C-D, qui se produit **au-dessus de la température limite de surchauffe à pression**

atmosphérique, est généralement appelée « **BLEVE chaud** ».

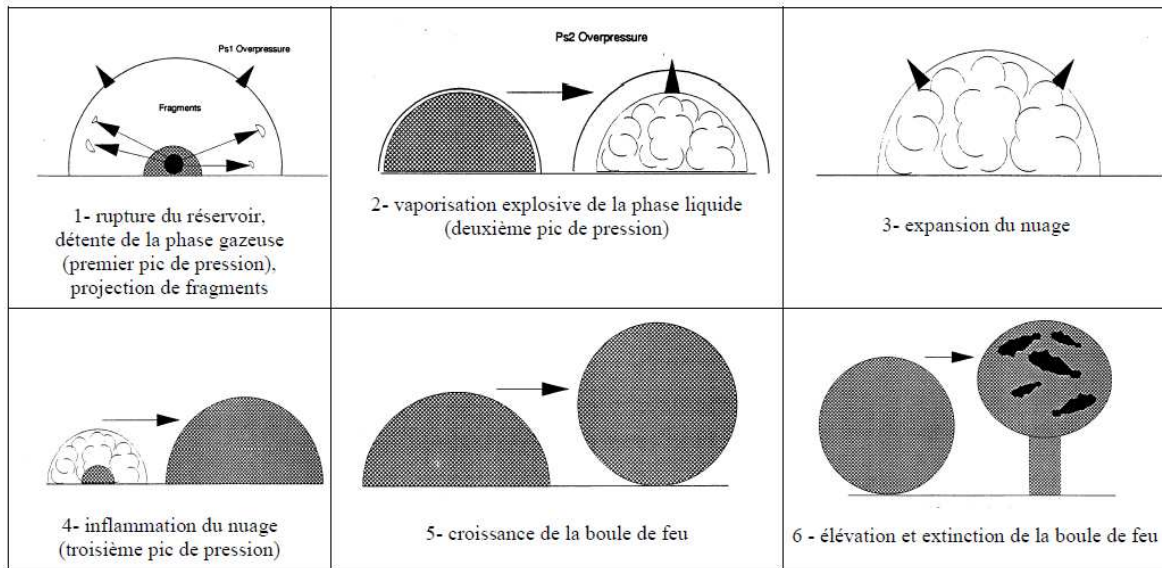


Figure I-5: Etapes de développement d'un BLEVE « chaud »

1.5.3 Type de BLEVE :

Les BLEVE sont de deux types :

En théorie, le BLEVE « froid » engendre des effets moindres que le BLEVE « chaud » car la pression et la température de rupture sont plus basses. De ce fait, le flash du liquide en gaz n'est pas total : une flaque de liquide peut se former au sol et engendrer un feu de nappe. Les niveaux de surpression dans l'environnement sont également plus faibles lors d'un BLEVE « froid », et les fragments sont projetés à des distances assez courtes.

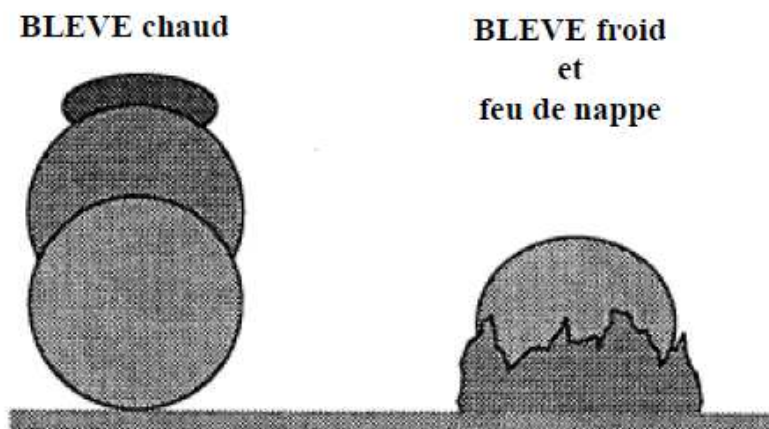


Figure I-6 Effets thermiques du BLEVE froid et BLEVE chaud

1.6 Explosion de nuage de vapeur confinée (CVCE) :

Une explosion de nuage de vapeur confinée (CVCE) est une explosion consécutive à une fuite de vapeur qui se produit dans un espace confiné, tel qu'un bâtiment ou un réservoir. Lorsque l'espace confiné est totalement confiné, une explosion de nuage de vapeur générerait une pression d'environ 8 bars. La plupart des bâtiments ne pourraient supporter ce niveau de surpression que s'il y avait une ventilation. La ventilation peut être une caractéristique de conception délibérée (Event D'Explosion) ou une ventilation involontaire (une fenêtre ou une porte cédant sous la pression).

Une explosion de nuage de vapeur confinée à l'intérieur d'un réservoir peut provoquer la rupture du réservoir, ce qui peut provoquer des dommages au missile sous forme de débris volants provenant du réservoir fragmenté, entraînant des dommages et blessures, voire des morts.

1.7 Explosion de nuages de vapeur non confinés (UVCE) :

Une explosion de nuage de vapeur non confinée est une explosion consécutive à une fuite de vapeur qui se produit dans un espace non confiné, à l'extérieur.

1.7.1 Théorie :

Un UVCE comprend généralement les étapes suivantes :

- rejet dans l'atmosphère d'un liquide inflammable volatil avec ou sans aérosol ,
- phase d'évaporation naturelle de la nappe liquide épandue,
- mélange avec l'oxygène de l'air pour former un volume inflammable,
- de manière concomitante, dilution et transport du nuage de vapeurs avec ou sans aérosol dont une partie du volume reste inflammable,
- en présence d'une source d'allumage, inflammation de ce nuage,
- propagation d'un front de flamme dans les parties inflammables du nuage.

Ce front de flamme, associé à l'expansion des gaz brûlés, agit à la manière d'un piston sur le mélange combustible environnant et peut être à l'origine de la formation d'une onde de pression aérienne,

- enfin, le cas échéant, mélange avec l'air et combustion des parties du nuage qui étaient initialement trop riches en combustible pour être inflammables. Le vocabulaire distingue, selon les effets produits, l'UVCE du Flash fire ou Feu de nuage. De manière générale, le terme UVCE s'applique lorsque des effets de pression sont observés, alors que le terme Flash fire est réservé aux situations où la combustion du nuage ne produit pas d'effets de pression. Cependant il s'agit dans les deux cas du même phénomène physique, à savoir la combustion d'un mélange inflammable.

1.8 Foudre

1.8.1 Introduction

Un coup de foudre est une décharge massive d'électricité de l'atmosphère, où la charge électrique s'est accumulée, jusqu'à la terre. La menace de la foudre ne peut pas être entièrement éliminée, en particulier avec les réservoirs à toit flottant où la vapeur est habituellement présente autour du joint de jante. Dans ces circonstances, il convient de prévoir des mesures pour atténuer les conséquences d'un incendie, notamment des systèmes d'extincteurs automatiques à étanchéité de rebord.



Figure I-7 Foudre

Les menaces d'un coup de foudre comprennent:

- *Des étincelles pouvant provoquer un incendie ou une explosion
- *Surtensions des équipements électriques, en particulier dispositifs de surveillance et de sécurité pouvant les mettre HS ou pire encore inutilisable.

La protection contre la foudre est un domaine spécialisé qui nécessite une connaissance approfondie des systèmes adaptés à chaque installation. Cependant, ils comprennent généralement les éléments suivants:

*Un «système de matrice de dissipation» qui réduit le potentiel entre le site et toute cellule de nuage d'orage qui pourrait se trouver à proximité.

*Un système de mise à la terre appelé «collecteur de courant». Ceci fournit une zone isolée électriquement dans laquelle l'installation sera située. Celui-ci est normalement constitué de fil métallique enfoui à une profondeur d'environ 25 centimètres et entourant la zone protégée. Ce fil est également connecté à des tiges qui sont enfoncées dans la terre tous les 10 mètres environ.

Enfin, la zone fermée est intégrée par un réseau de conducteurs croisés qui sont également connectés à toutes les structures de la zone, ainsi qu'au système de mise à la terre lui-même. Cela permet à tout courant de se décharger sur la terre en toute sécurité.

*Suppresseurs de surtension électrique.

Ces appareils ont deux fonctions distinctes à remplir. Premièrement, arrêter les coups directs à l'intérieur de l'installation et, deuxièmement, empêcher les surtensions rapides et élevées.

1.8.2 les précautions généralement nécessaires sont:

* Garder la foudre canalisée loin du voisinage immédiat des matériaux inflammables et explosifs

- * D'éviter les étincelles ou le renversement dans les joints et les colliers de serrage et aux composants proches.

- *Prévenir la surchauffe des conducteurs

- *D'éviter les renversements ou les étincelles dus aux tensions induites

- *D'éviter l'augmentation du potentiel du système de raccordement à la terre

- *Tous les conteneurs métalliques doivent avoir une épaisseur suffisante (généralement 5 mm minimum)

- *Conducteurs descendants montés sur toutes les autres structures métalliques et en nombre suffisant pour soustraire de manière adéquate toute surtension

- * Tous les systèmes de mise à la terre doivent être interconnectés à un système de terminaison de terre unique. Cela prend généralement la forme d'un maillage ou d'un motif de grille autour du site.

Conclusion

L'industrie du pétrole et du gaz caractérise les défis du point de vue de la sécurité. Dans ce type d'industrie, le transport, la compression ou la distribution de ces rares richesses naturelles comporte des risques et des aléas pouvant entraîner de nombreux phénomènes dangereux qui à leur tour peuvent générer de nombreuses pertes; par exemple, blessures et pertes humaines, gaspillage de pétrole et de gaz, et pollution à l'environnement.

Introduction

Pour mettre en place des barrières de sécurité afin de contrôler les risques, il est important d'identifier les risques dont la première étape consiste à effectuer une évaluation des risques. Cela permet aux risques pertinent d'être identifié et de leur de prendre en considération, de manière appropriée.

Dans l'industrie pétrolière et gazière, ces risques sont généralement associé à toutes les installations, équipements, produits, processus et systèmes de travail, qui ont tous le potentiel de nuire.

Il existe un certain nombre de techniques disponibles lors de l'évaluation des risques, y compris:

L'approche des 5 étapes

Techniques d'évaluation qualitative

Techniques d'évaluation quantitative

Nous examinerons chaque technique par la suite. Cependant, rappelons-nous simplement Que est ce qu'un **danger** et que est ce qu'un risque.

Un danger est défini comme quelque chose ayant le potentiel de cause:

- * **Préjudice, y compris maladie et blessure**
- * **Dommmages des biens, produits ou environnement**
- * **Pertes de production ou augmentation des passifs(dettes)**

Un **risque** est défini comme la probabilité de l'occurrence du préjudice :

le risque (élevé ou faible) que quelqu'un puisse être endommagé ou certaines infrastructures pourraient l'être.

Ceci est généralement accompagné d'une indication de manière a ce qu'on sache la gravité de l'accident.

1 Techniques d'évaluation des risques général mentionné ci-dessus (méthodes d'analyse des risques) :

A.L'approche des 5 étapes :

Étape 1 Identifier les dangers

Étape 2 identifier le sujet exposé au danger et comment

Étape 3 Évaluer les risques et décider des précautions à prendre

Étape 4 Enregistrer les résultats et les mettre en œuvre

Étape 5 Réviser l'évaluation régulièrement et mettre à jour si nécessaire

Étape 1 Identifier les dangers :

La première étape consiste à déterminer comment les gens pourraient être atteints par un danger.

Pour faciliter l'identification des dangers, il est nécessaire d'accomplir la procédure suivante :

- * Effectuer une visite du lieu de travail et observer ce qui pourrait engendrer des dommages.
- * Consulter les travailleurs ou leurs représentants pour avoir leur point de vue et leurs opinions.
- * Consultez les instructions du fabricant ou les fiches de données. Celles-ci mettront en évidence les dangers associés aux machines et aux différentes substances.

* Consulter le journal des accidents et les dossiers médicaux. Celles-ci peuvent souvent indiquer des dangers moins évidents, ainsi que mettre en évidence les tendances.

Étape 2 identifier le sujet exposé au danger et comment

Pour chaque danger, il faut identifier clairement les groupes de personnes qui pourraient être blessés

Cela va aider à identifier le meilleur moyen de gestion des risque (par ex «Personnes travaillant dans la chaufferie» ou «du personnel juste passant par la zone dangereuse»). Dans chaque cas, il faut indiquer comment ils pourraient être blessé, c'est-à-dire quel type de blessure ou d'atteintes a la santé peut survenir. Par exemple, les travailleurs soulevant du matériel lourd peuvent être susceptibles de blessures au dos.

Étape 3 Évaluer les risques et décider des précautions à prendre

Après avoir effectué les étapes précédentes, celle-ci consiste à décider quelles sont les mesures à prendre pour réduire les risques associés aux dangers. Dans la plupart des pays, la loi exige l'employeur à faire tout ce qui est «raisonnablement possible» pour protéger les travailleurs. Il est important de savoir utiliser les méthodes de gestion des risques adéquate afin de contrôler et hiérarchiser les risques par ex :(la méthode ALARP), Cependant la priorité doit être donnée aux mesures de contrôle dans la liste ci dessus.

Élimination

Substitution

Contrôles techniques

Contrôles administratifs

Equipement de protection individuelle (EPI)

Étape 4 Enregistrer les résultats et les mettre en œuvre

La mise en œuvre des résultats de l'évaluation des risques est l'étape suivante. La première étape de la mise en œuvre consiste à écrire les résultats de l'évaluation des risques et partager les documents avec les membres du personnel impliqués. Une évaluation des risques ne devrait pas éliminer tous les risques, mais on s'attend à ce qu'il soit approprié et suffisant.

En ordre pour qu'il réponde à ces critères, il devra pouvoir montrer que :

- *Une bonne gestion a été faite.
- *Tout le personnel qui pourra être exposé a été consulté.
- *Tous les dangers importants ont été abordés.
- *Les mesures de contrôle des risques recommandées sont approprié et suffisant, et le risque restant est faible.
- *Tout le personnel ou leurs représentants ont participé aux processus.

Si l'évaluation des risques concluent qu'il y a un certain nombre d'améliorations à apporter, c'est évident d'élaborer un plan d'action bien ordonné.

Étape 5 Réviser l'évaluation régulièrement et mettre à jour si nécessaire

Peu de lieux de travail restent statiques. Inévitablement, de nouveaux équipements, des variations de substances et les procédures entreprises introduiront de nouveaux dangers. Par conséquent, il est judicieux de passer en revue toutes les mesures de contrôle en continu.

Au-delà de l'approche des 5 étapes, il existe d'autres techniques disponibles qui adoptent une approche différente de l'évaluation des risques et de gestion. Celles-ci incluent l'évaluation des risques qualitative et l'évaluation des risques quantitative.

Ces techniques sont considérées comme plus complètes et utilisent une gamme de facteurs plus large, y compris les coûts financiers, la perte de temps, la perte d'activité, la perte de réputation, etc.

B. Techniques d'évaluation des risques qualitative :

Une évaluation qualitative des risques est basée sur les conclusions tirées par l'évaluateur à l'aide de son expertise et son expérience pour juger si les mesures de contrôle des risques actuelles sont efficaces et adéquates, afin de garantir qu'elles réduisent le risque de niveau aussi bas que raisonnablement possible, ou si davantage de mesures doivent être appliquées.

C'est un moyen d'identification des dangers émanant des activités susceptibles d'affecter les personnes ou l'environnement.

L'évaluateur peut développer une compréhension des risques impliqués et à quel point ils peuvent être sérieux, lui permettant de hiérarchiser les mesures de contrôle et d'ordonner leur réalisation.

L'utilisation de la matrice d'échelle peut être utile dans ce processus.

Il est avantageux d'utiliser les compétences combinées d'une équipe d'évaluateurs

Obtenir une image plus complète des risques encourus résulterait d'un ensemble d'idées et de jugements plutôt que d'un seul évaluateur.

Lorsqu'une équipe d'évaluateurs est impliquée, le fait de les faire travailler de manière indépendante sur l'évaluation des risques avant de les réunir permettra de surmonter les influences indues de membres plus forts de l'équipe. Cela se terminerait par un débat et une confrontation des idées afin de parvenir à un consensus d'opinion et une décision finale sur les mesures de contrôle des risques à appliquer.

Lors d'un jugement qualitatif sur la criticité d'un risque, deux paramètres sont pris en compte. C'est la probabilité qu'un événement se produise et les conséquences ou gravité si l'événement se produit.

La gravité peut être évaluée en termes d'effet sur:

- les dommages causés

le temps
 le cout
 La qualité
 les Inconvénients

C. Techniques d'évaluation quantitative :

Dans l'industrie pétrolière et gazière, les risques associés aux processus et aux opérations complexes nécessitent une approche sophistiquée afin d'évaluer les risques encourus. Les techniques quantitatives d'évaluation des risques permettent de réaliser une évaluation détaillée qui sera fondée sur des considérations quantitatives des probabilités et des conséquences des événements.

Les évaluations quantitatives des risques impliqueront l'utilisation d'outils et de techniques quantitatives spéciaux afin d'identifier les dangers, de donner une estimation de la gravité des conséquences et de la probabilité que les dangers se matérialisent. Les évaluations quantitatives des risques seront abouties à la fourniture d'estimations numériques des risques, qui peuvent ensuite être évaluées par rapport à des critères de risque numériques connus.

2 Acceptabilité du risque

2.1 Echelles et comparaison des risques

La définition même du risque permet de le considérer comme un élément d'un espace réel à deux dimensions (noté R2). Il s'ensuit que les propriétés dans cet espace, telles qu'absence de relation d'ordre naturelle, sont applicables au risque et qu'en conséquence il est inutile de chercher à hiérarchiser deux risques (p_1, g_1) et (p_2, g_2) l'un par rapport à l'autre. Ce qui n'est pas sans poser de problème en termes de gestion.

Il est toutefois possible de les hiérarchiser en privilégiant marginalement l'une de leurs deux composantes

soit en comparant p_1 par rapport à p_2 puis g_1 par rapport à g_2

soit en comparant g_1 par rapport à g_2 puis p_1 par rapport à p_2 .

En sécurité des systèmes, c'est cette deuxième option qui est systématiquement prise au regard d'une échelle de gravité préalablement établie

En fiabilité des systèmes, les gravités sont considérées comme comparables dans un premier temps et il est donc possible et habituel de raisonner en premier lieu sur des probabilités.

2.2 Echelles de gravité et de probabilité :

L'échelle de gravité peut être à 3, 4 ou 5 échelons ou classes.

cette dernière est préférable car elle permet de caractériser l'ensemble des conséquences génériques sur le déroulement d'une activité, en termes de mission et de sécurité à savoir: mission réussie, mission dégradée, mission échouée, sécurité dégradée et sécurité échouée.

les gravités des conséquences sont définies indépendamment de leur nature et des causes qui ont généré les risques.

Tableau II-1 Exemple d'échelle de gravité des conséquences

Classes de gravité	Intitulé de la classe	Indexe	Intitulé des conséquences
G1	Mineure	10	Faible impact ne remettant pas en cause les objectifs de performance (disponibilité, qualité de service etc.) et de sécurité de l'activité Diminution acceptable de la disponibilité ou de la qualité de service sans impact sur les objectifs de l'activité Contraintes opérationnelles acceptables Indisponibilité maximum compatible avec les objectifs
		11	
		12	
		13	
G2	Significative	20	Dégradation du niveau de performance de l'activité Réorganisation de l'activité afin d'assurer la réussite de la mission nominale, Dégradation de la disponibilité ou de la qualité de service a priori ou négociable, Non-respect partiel des contraintes clés à un niveau acceptable
		21	
		22	
		23	
G3	Grave	30	Forte à très forte dégradation du niveau de performance pouvant aller jusqu'à l'échec de l'activité Non-respect total des contraintes clés à un niveau acceptable, Dégradation inacceptable des performances ou de la qualité de service au regard des objectifs Disponibilité ou qualité de service très dégradée ou inacceptable au regard des objectifs, Contraintes opérationnelles importantes Blessures légères.
		31	
		32	
		33	
		34	
G4	Critique	40	Dégradation du niveau de sécurité de l'activité: Blessures graves ou invalidité temporaire Destruction partielle d'infrastructures ou de biens Dommages importants sur l'environnement
		41	
		42	
		43	
G5	Catastrophique	50	Forte à très forte dégradation du niveau de sécurité de l'activité pouvant aller jusqu'à l'occurrence d'un événement irréversible Perte de vie humaine, invalidité, Blessures très graves Destruction totale d'infrastructures ou de biens Fermeture définitive ou dépôt de bilan d'une entreprise dommages irréversibles sur l'environnement.
		51	
		52	
		53	
		54	
		55	
56			

L'aspect aléatoire du risque peut être structuré par la définition d'une échelle de probabilités, fréquences ou vraisemblances de 3 à 5 échelons tels que présenté dans le tableau 2

Tableau II-2 échelle de probabilités, fréquences ou vraisemblances de 3 à 5 échelons

Classes des vraisemblances	Intitulés des vraisemblances	Intitulés des fréquences	Périodes de récurrence
V1	impossible à improbable	Moins de 1 fois par T1	
			T1
V2	Très peu probable	Entre 1 fois par T1 et 1 fois par T2	
			T2
V3	Peu probable	Entre 1 fois par T2 et 1 fois par T3	
			T3
V4	Probable	Entre 1 fois par T3 et 1 fois par T4	
			T4
V5	Très probable à certain	Plus d'1 fois par T4	

Elles permettent de structurer l'échelle de vraisemblance.

Les périodes de récurrence peuvent être en durée ou en nombre de réalisation.

Par exemple, si T1 = 5 ans et T2=1 an alors V1 correspond à une occurrence de moins d'une fois tous les 5 ans et T2 à une occurrence comprise entre une fois tous les 5 ans et une fois par an.

De même, si T3=100 opérations et T4 = 10 opérations, alors V4 correspond à une occurrence comprise entre 100 et 10 opérations et V5 à une occurrence de plus d'une fois toutes les 10 opérations.

2.3. Criticité du risque

la criticité est le résultat d'une fonction de décision $fD(G, V)$ ou $fD(G, p)$ associée à une échelle de valeurs ou de contraintes de nature politique, sociale, religieuse, éthique, économique, etc, relativement à un risque défini par ses deux composantes.

Ainsi le risque acceptable est << la valeur d'un risque résultant d'une décision explicite établie de façon objective par comparaison avec des risques connus et admis, naturels ou technologiques dans certaines branches d'activités >> ,

dans certaines d'activités , on parle de risque admissible ou tolérable ou de risque limite.

Dans ces cas, on sous-entend que le risque n'est pas explicitement accepté mais subi.

Ainsi au regard du référentiel d'acceptabilité validé par la Gouvernance des risques , on peut directement associer à un risque une décision d'acceptation, de contrôle ou de rejet comme il est défini ci-après:

- **risque acceptable en l'état** : le risque initial ou résiduel défini par sa probabilité et sa gravité est décidé comme structurellement acceptable. Ce risque existe mais est accepté en l'état par la Gouvernance;
 - **risque tolérable sous contrôle** : le risque initial ou résiduel défini par sa probabilité et sa gravité ne peut être conjoncturellement toléré que s'il est inférieur à un seuil préalablement défini;
 - **risque inacceptable** : le risque initial ou résiduel défini par sa probabilité et sa gravité ne peut être justifié dans le cadre du déroulement courant de l'activité considérée. Il pourra être néanmoins toléré ou considéré accepté dans des circonstances très exceptionnelles.
- La décision d'action associée à un risque est directement fonction de sa criticité définie à partir de la valeur de ses deux composantes: probabilité, p et gravité, g.
Une échelle de criticité est présentée dans le tableau 3.

Tableau II-3 : Exemple d'échelle de criticité.

Classes de criticité	Niveau de risque	Décisions et actions
C1	Accepté en l'état	Aucune action n'est à entreprendre.
C2	Tolérable sous contrôle	On doit organiser un suivi en termes de gestion du risque (y compris transfert).
C3	Inacceptable	On doit refuser la situation et prendre des mesures en réduction des risques sinon On doit refuser tout ou partie de l'activité

Une activité de criticité C1 ne signifie pas qu'elle ne présente pas de risques mais que ceux-ci sont considérés et acceptés dans l'état actuel par la Communauté qui y est exposée et la Gouvernance qui les gère.

Le concept de tolérance associée au risque de criticité C2 correspond au suivi d'un seuil au-delà duquel le risque est considéré comme inacceptable (criticité C3).

2.4. Criticité et risque moyen

Le risque moyen ou espérance mathématique de la gravité du risque ($RM=G*V$) est un paramètre d'évaluation du risque mais il ne doit pas être pris comme paramètre de décision comme l'est la criticité.

L'exemple suivant précise cette assertion

Soient deux accidents possibles notés A et B

- un événement redouté A a pour conséquence plus de 10 victimes avec une probabilité de $10E-2$. Le risque moyen calculé est égal à $10E-1$ victime par occurrence de A
- un événement redouté B a pour conséquence plus de 10 000 victimes avec une probabilité de $10E-5$. Le risque moyen calculé est égal à $10E-1$ victime par occurrence de B

3 Processus de maîtrise de risque :

Introduction

La maîtrise du risque a pour but de définir et de consolider des actions permettant dans une activité donnée, de rendre acceptable un événement E identifié inacceptable suite aux analyses de risques. Plusieurs méthodes permettent de passer d'un risque inacceptable à un risque acceptable. Elles sont à mettre en œuvre dans l'ordre de priorité suivant :

- la pertinence et l'acceptation
- la précaution
- la prévention
- la protection;

3.1 Pertinence des actions :

Si une activité génère des risques, les actions pour leur maîtrise ne doivent être décidées et engagées qu'à l'issue d'une étude de pertinence. Cette étude doit démontrer que l'effort (dont le coût) d'engagement de ces actions n'est pas supérieur au coût des conséquences directes de l'occurrence du risque. Dans le cas contraire, en fonction de la gravité de ses conséquences, le risque doit être accepté tel quel ou l'activité qui le génère ne doit pas démarrer.

Par exemple, si l'événement redouté est l'arrêt d'exploitation d'une installation consécutif au foudroiement des bâtiments abritant celle-ci, on acceptera l'arrêt de l'installation si le coût de protection est important et si la fréquence des arrêts est faible au regard des durées d'exploitation nominales.

3.2 Précaution et son principe :

La précaution ou la prudence relative à une activité consiste à réduire le domaine de risque acceptable par suite d'incertitudes sur des caractéristiques de cette activité. Ces incertitudes sur ces caractéristiques sont traduites par le doute sur l'occurrence possible d'un événement redouté pour lequel aucune connaissance ne permet de connaître et de comprendre le ou les scénarios y conduisant. Dans ce contexte, l'événement redouté est directement associé à un événement dont

les causes initiales appartiennent au domaine de l'inconnaissable ou à la zone d'incertitude.

C'est dans ces circonstances où le risque ne peut être perçu que par ses conséquences, graves et irréversibles, que l'on parlera d'application du « principe de précaution ». L'action consécutive correspond à la diminution du domaine de risque acceptable jusqu'à le rendre nul si une activité est a priori considérée inacceptable

3.3 Prévention:

La prévention consiste à modifier le système ou son exploitation pour diminuer la probabilité d'occurrence de l'événement redouté E et rendre le risque acceptable (figure 8)

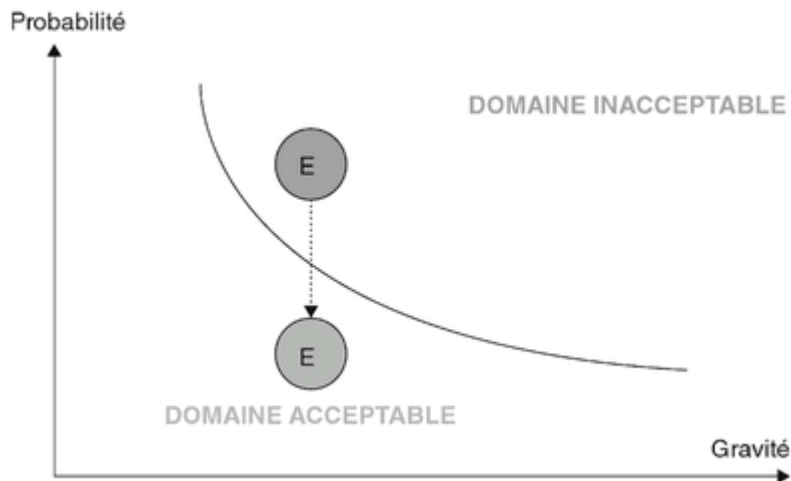


Figure II-1 Diagramme de Farmer : actions de prévention.

Autrement dit, mettre en œuvre une action de prévention vis-à-vis d'un événement redouté, c'est agir sur la ou les causes de celui-ci pour en diminuer la probabilité d'occurrence

Si l'événement redouté est l'arrêt d'exploitation d'une installation consécutif au foudroiement des bâtiments abritant celle-ci, le choix d'un site dans une zone faiblement kéraunique diminuera alors ce risque et par là même l'occurrence de l'événement redouté.

3.4 Protection

La protection consiste à modifier le système ou son exploitation pour diminuer la gravité de l'événement redouté E et rendre le risque acceptable.

Autrement dit, mettre en œuvre une action de protection vis-à-vis d'un événement redouté, c'est agir sur la ou les conséquences de celui-ci pour en diminuer la gravité (figure 9).

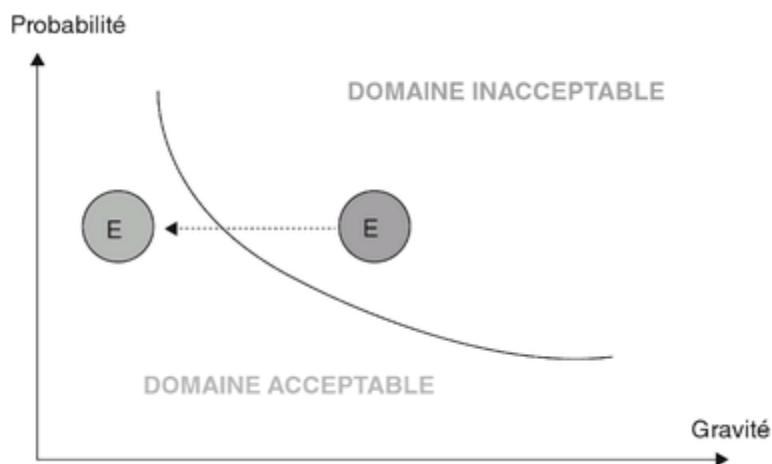


Figure II-2 Diagramme de Farmer

C'est, par exemple, le parapet de sécurité mis en place au bord d'une route de montagne pour empêcher une voiture de tomber dans le ravin suite à sa perte de contrôle

>>Remarque

Le langage usuel a tendance à confondre prévention et protection il est bien sûr évident que la mesure de protection doit être mise en place en prévision de l'occurrence de l'événement redouté mais ne doit pas être confondue avec la mesure de prévention qui agit sur la cause, qui est dans l'exemple ci-dessus, la perte de contrôle du véhicule.

Conclusion

Ce chapitre présente les grandes lignes d'évaluation des risques , on remarque que toute évaluation incorpore l'identification des dangers comme l'un des éléments clés pour contribuer à la sécurité des processus. Dans la plupart des cas, les différents scénarios et listes de mesures sont recommandés pour l'utilisateur.et l'entreprise peut sélectionner l'outil approprié pour compléter l'identification du danger afin de réduire les risques suivant une méthode bien définis .Alors il serai pertinent d'examiné les différentes méthodes d'analyse des risques de plus prés par la suite.

1 Définition du système :

Introduction

Avant de mener une analyse de risques, il est essentiel d'analyser le système que l'on souhaite étudier, puisque « un problème sans solution est un problème mal posé » [Albert Einstein],

c'est-à-dire :

1. Définir les limites du système,
2. Définir les échelles de l'étude,
3. Définir le contenu du produit et de l'environnement étudiés, au sens d'une approche systémique, c'est-à-dire « Système = Produit + Environnements »,
4. Définir les liaisons et interactions entre ce produit et ces environnements,
5. Définir le fonctionnement global de ce système par une analyse fonctionnelle.

1.Limites du système :

1.1.1 Définition d'un système :

Un système se décompose, selon une approche systémique, en un produit, un environnement de causes et un environnement de conséquences (identique ou non à l'environnement de causes).

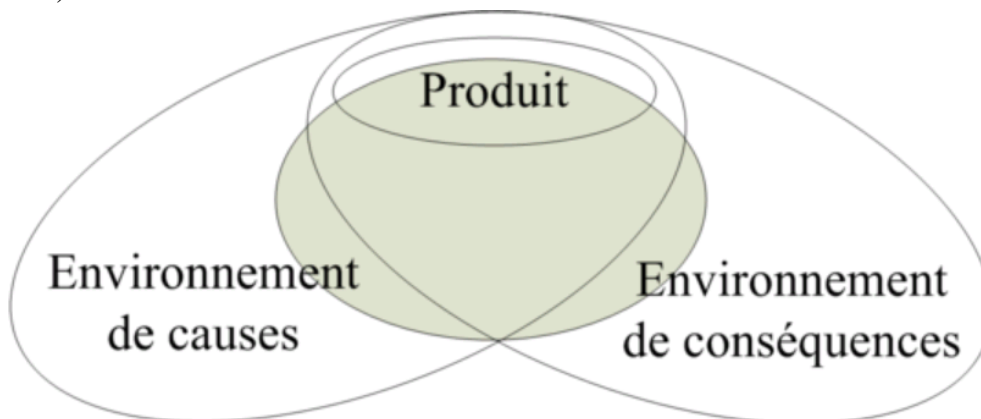


Figure III-1 : Représentation du produit et de ses environnements

La partie grisée appelée « domaine de la connaissance », représente la connaissance que l'on a du système étudié lorsque l'on fait une analyse de risques. Cette partie grisée n'englobe pas l'ensemble du produit et de ses environnements dans la mesure où un groupe d'experts aussi qualifié soit-il ne possède généralement pas toutes les connaissances des causes et des conséquences des dégradations d'un produit.

On peut également noter que ces quatre domaines (produit, environnement de causes, environnement de conséquences et domaine de la connaissance) évoluent au cours du temps, puisque le produit peut être modifié (réparé ou maintenu) au cours du temps, l'environnement de causes peut être modifié (changement climatique, changement de destination du produit)

au cours du temps, l'environnement de conséquences peut également être modifié (construction d'autres produits à proximité, changement de réglementations ou évolutions des mentalités) et les connaissances peuvent également évoluer au cours du temps.

1.1.2 Définition d'une dégradation

Une dégradation est définie par un phénomène (physique, sociétal, économique,...), des causes et des **conséquences**.

Un phénomène est ce qui se produit et que l'on peut observer, par exemple, la carbonatation des bétons, la corrosion des aciers, le durcissement des polymères, etc.

Les causes d'un phénomène sont soit internes au produit (contenues dans l'ellipse produit de la figure III-1) soit externes au produit (contenues dans l'ellipse « environnement de causes » de la figure III-1).

Les **conséquences** d'un phénomène sont soit internes au produit (contenues dans l'ellipse produit de la figure III-1) soit externes au produit (contenues dans l'ellipse « environnement de conséquences » de la figure III-1).

1.1.3 Contenu d'un système

Le produit contient l'ensemble des éléments sur lesquels on peut agir (par exemple, une construction ou une infrastructure – dont on maîtrise le dimensionnement – des habitants, des skieurs – que l'on peut orienter par des signalétiques – des cours d'eau – que l'on peut diriger par des ouvrages hydrauliques). On notera que l'on n'a pas nécessairement le même niveau de maîtrise de l'ensemble des éléments contenus dans un produit.

Les environnements regroupent l'ensemble des éléments sur lesquels, pour un problème donné, on ne peut pas agir, comme les précipitations, les séismes, les incendies, les conditions d'utilisation, etc. L'environnement de causes inclut l'ensemble des éléments ayant un impact sur le produit, c'est-à-dire pouvant générer un événement dangereux. L'environnement des conséquences inclut l'ensemble des éléments sur lequel le produit peut avoir un **impact**, c'est-à-dire l'ensemble des **conséquences** potentielles des événements dangereux.

Un produit peut être un logement d'habitation. Un élément de l'environnement de causes pourra être un incendiaire. Le scénario d'événements dangereux sera le déclenchement d'un incendie qui brûle des matériaux combustibles du logement et provoque des dégagements de gaz toxiques. L'environnement de conséquences pourra être composé des occupants (asphyxiés par ce scénario dangereux) et de l'atmosphère (pollution par les gaz toxiques dégagés et réchauffement localisé du au dégagement de chaleur) et éventuellement de l'incendiaire lui-même.

Il est alors essentiel, pour toute étude **d'analyse de risques**, d'identifier les limites de ce **système**, c'est-à-dire les limites du produit, les limites des environnements (de causes et de **conséquences**) et les limites des **impacts** entre l'environnement et le produit considérés.

On distingue trois types de limites, les limites spatiales, les limites temporelles et la limite des **impacts** entre l'environnement et le produit.

Les **limites spatiales** définissent géométriquement ou géographiquement l'étude.

Exemple 1 :

On s'intéresse aux **risques** d'asphyxie dans une cage d'escalier. Ici le produit est composé de la cage d'escalier, des équipements de **sécurité** incendie. La limite spatiale du produit est l'enveloppe de la cage d'escalier.

L'environnement de causes regroupe les départs de feu potentiels. L'environnement de **conséquences** est limité spatialement par le bâtiment dans lequel ce feu peut se propager ; il contient des usagers, des personnels de **sécurité**, du matériel, des locaux, etc.

Les limites temporelles définissent la durée pendant laquelle le système est étudié. Il peut s'agir d'une ou de plusieurs années, d'un ou de plusieurs cycles, etc.

Le but est de s'intéresser aux risques d'asphyxie dans une cage d'escalier pendant la durée d'un incendie.

Les limites des impacts entre l'environnement et le produit réduisent le champ d'investigation de l'analyse de risques aux seules compétences des personnes menant l'analyse de risques considérées. Il est en effet illusoire de vouloir évaluer les conséquences financières d'un accident de voiture si le groupe de travail ne regroupe ni assureur, ni réparateur automobile, etc ; en général, il n'est pas non plus utile d'évaluer les conséquences d'un incendie de bâtiment sur la couche d'ozone.

1.2 Echelles de l'étude :

Le résultat d'une analyse de risques pouvant différer selon les échelles choisies, il est donc essentiel de les définir avant de commencer toute étude.

Nous distinguons quatre échelles :

1.2.1 L'échelle temporelle :

La fiabilité d'un système à remplir les fonctions pour lesquelles il va ou a été construit dépend de l'intervalle de temps qui intéresse cette épreuve dont le résultat est aléatoire. Cette notion d'intervalle de temps peut présenter plusieurs graduations :

à quelle phase du projet s'intéresse-t-on (conception d'un nouveau bâtiment, réalisation d'une étanchéité, réhabilitation d'une installation...) ?

quelles sont les cinétiques des phénomènes (dégradation naturelle lente d'un matériau, effondrement d'un bâtiment lors d'un séisme, érosion interne d'une digue, ...) ?

quelles sont les temps de réponse des systèmes (alarme, extinction, arrivée de secours) ?

quel est l'intervalle de temps entre deux opérations (inspection, maintenance,...) ?

Il faut remarquer que dans un problème donné peuvent se superposer plusieurs échelles emboîtées. En effet dans un même problème on peut avoir des éléments qui évoluent sur des échelles de vitesse différentes : un problème de risque incendie (quelques minutes) peut être lié à la détérioration lente (quelques années) d'une protection ou d'un isolant.

1.2.2 L'échelle géométrique :

Une analyse de risques ne porte pas forcément sur tout le projet ; par expertise ou par analyse préalable on peut avoir isolé dans le projet une entité géométrique qui est le cœur de l'analyse de risques.

Les graduations de l'échelle géométrique peuvent alors être le projet entier, une partie du projet, une structure, un élément de structure, un composant, un matériau.

Ici aussi, comme pour l'échelle temporelle, plusieurs graduations peuvent se superposer.

1.2.3 L'échelle fonctionnelle :

L'analyse de risques a pour objectif d'analyser les réponses du système étudié vis-à-vis des fonctions pour lequel il a été construit. Selon le problème posé, l'analyse porte sur toutes les fonctions du système (sécurité des biens, des personnes) sur des fonctions principales seules (stabilité structurale, isolation acoustique,..) ou sur une seule fonction particulière identifiée par le décideur.

1.2.4 L'échelle des phénomènes :

Un scénario (enchaînement de phénomènes) défavorable est souvent la conséquence de causes multiples mais surtout met en jeu des phénomènes de nature très diverses : physiques, comportementaux, organisationnels,...

Exemple :

Un scénario d'incendie par exemple est lié à la réalisation d'un ou plusieurs phénomènes physiques (embrasement puis combustion du poteau puis rupture de l'assemblage poteau-poutre puis,...), au comportement des différents acteurs (usagers, secours, ...), à l'organisation et aux moyens mis en œuvre (protection, détection, alarme...).

Une analyse de risques peut envisager tous les scénarios ou quelques uns seulement, tous les phénomènes (propagation de flammes, des fumées, de la chaleur, des efforts,...) ou bien un phénomène particulier (évolution de la zone calcinée dans une poutre) pour une fonction particulière (estimation de la diminution de performance en résistance).

1.3 Liaisons et interactions entre produit et environnements

Il s'agit ici de définir d'une part les liaisons existant entre les éléments du produit et d'autre part de préciser les interactions entre le produit ou ses éléments et les environnements de causes et de conséquences.

La connaissance des liaisons entre éléments d'un produit permettent d'identifier la répartition des efforts, des flux de température, etc. ... lorsque le produit fonctionne correctement et par conséquent l'impact de la dégradation d'un élément sur les autres éléments du produit lorsque celui-ci dysfonctionne.

La connaissance des interactions entre le produit ou ses éléments et l'environnement de causes permet de détailler les sollicitations de l'environnement sur le produit. Tandis que la connaissance des interactions entre le produit ou ses éléments et l'environnement de conséquences permet de centrer l'étude de l'impact des dégradations d'un produit aux éléments constituant cet environnement de conséquences.

2. Méthodes d'analyse des risques

Introduction

Un plan de gestion du risque comprend des stratégies et des techniques visant à reconnaître ces menaces et à les endiguer. Une bonne gestion du risque n'est pas nécessairement coûteuse ou fastidieuse. Elle peut consister simplement à répondre aux trois questions suivantes :

- Qu'est-ce qui pourrait mal tourner?
- Que ferons-nous pour prévenir les dommages et réagir à un sinistre ou à des pertes?
- Si un sinistre se produit, comment le gérer ?

Les outils d'analyse des risques doivent être choisis en fonction des caractéristiques des installations à étudier et du niveau de détail rechercher.

2.1. Typologie des méthodes d'analyse des risques :

il existe plusieurs manières de classer les méthodes d'analyse des risques, la plus classique étant exposée ci-dessous :

Méthodes qualitatives et quantitatives.

Méthodes inductives et déductives.

Méthodes statiques et dynamiques.

2.1.1 méthodes qualitatives et quantitatives :

Une **analyse quantitative** consiste à caractériser numériquement le système à analyser, en déterminant par exemple le taux de défaillance, la probabilité d'occurrence d'une défaillance, les coûts des conséquences, ...

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

A l'heure actuelle, le **raisonnement qualitatif** permet de combler certaines insuffisances des méthodes numériques dans des domaines où les connaissances sont peu formalisées ou difficilement quantifiables. Par contre, la substitution du qualitatif au numérique n'est pas souhaitable, la communauté du raisonnement qualitatif conçoit clairement son apport en complément et non en opposition aux méthodes quantitatives.

2.1.2 méthodes inductives et déductives :

Les méthodes inductives sont initiées à partir des causes d'une situation à risque pour en déterminer les conséquences.

Ces méthodes sont aussi appelées montantes (en anglais bottom-up) car, à partir des événements causes définis au niveau élémentaire elles permettent d'induire les événements conséquences au niveau sous-système ou système.

Les méthodes déductives sont initiées à partir des conséquences d'une situation à risque pour en déterminer leurs causes.

Ces méthodes sont aussi appelées descendantes (en anglais top-down) car, à partir des événements conséquences définis au niveau système ou sous-système, elles permettent de déduire les événements causes combinés au niveau élémentaire.

Il est à noter que les modélisations et simulations analogiques ou numérique , qui permettent de visualiser les scénarios de défaillance à travers l'architecture modélisée et d'en évaluer les impacts, ne peuvent être classées selon ce schéma.

En résumé les **méthodes inductives** de diagnostic correspondent à une approche "montante" où l'on identifie toutes les combinaisons d'événements élémentaires possibles qui peuvent entraîner la réalisation d'un événement unique indésirable : la défaillance.

Pour les **méthodes déductives**, la démarche est inversée puisque l'on part de l'événement indésirable, la défaillance, et l'on recherche ensuite par une approche descendante toutes les causes possibles.

2.1.3 méthodes statiques et dynamiques :

Une **méthode dynamique** permet de prendre en compte l'évolution de la configuration des composants du système au cours du temps, alors qu'une **méthode statique** étudie un système à différents instants de son cycle de vie, c'est-à-dire pour différents états possibles, sans pour autant s'intéressé aux transitions entre ces états.

2.2. Liste des méthode d'analyse des risques :

Le tableau III-1 ci-dessous regroupe les principales méthodes d'analyses des risques

Nom de la méthode	Objectif principal	Typologie
Méthode du Diagramme de Succès ou de Fiabilité (MDS/MDF)	Modéliser le fonctionnement puis évaluer la fiabilité d'un système en considérant que le service global de ce système résulte d'une mise en série et/ou en parallèle de services élémentaires.	Quantitative Inductive Statique
Méthode de l'Arbre de Défaillance (MAD) ou de Défaut ou de Faute	Représenter de façon synthétique l'ensemble des combinaisons d'événements qui peuvent engendrer un événement redouté.	Quantitative Déductive Statique
Méthode de l'Arbre des Causes (MAC)	Analyser et représenter les causes ayant contribué à l'occurrence d'une défaillance sur la base de retours d'expérience.	Qualitative Déductive Statique
Méthode de l'Arbre des Conséquences ou Arbre d'Événement (MACQ/MAE)	Représenter sous forme de scénarios les conséquences potentielles d'un événement initiateur, d'une défaillance.	Quantitative Inductive Statique
Méthode du Diagramme Causes-Conséquences (MDCC)	Décrire les scénarios d'événements redoutés à partir d'événements initiateurs.	Quantitative Inductive et Déductive Statique
Analyse Préliminaire des Risques / Dangers (APR/APD)	Identifier les scénarios d'accident en présence de danger.	Qualitative Inductive Statique
Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC)	Identifier les effets des modes de défaillance des composants sur les fonctions du système.	Quantitative ⁽¹⁾ Inductive Statique
Hazard and operability (HAZOP)	Identifier les dangers créés par une dérive des paramètres d'un procédé.	Qualitative Inductive Statique

Hazard identification (Hazid)	Identifier les risques suite à l'occurrence d'un événement initiateur.	Qualitative Inductive Statique
Méthode des Combinaisons des Pannes Résumées (MCPR)	Regrouper les pannes ayant les mêmes effets et tenir compte des interactions indésirables entre systèmes.	Qualitative Déductive Statique
Méthode de l'Espace des Etats (MEE)	Evaluer les principales caractéristiques de fiabilité et de disponibilité d'un système réparable.	Quantitative Inductive Dynamique
Processus de Markov	Modéliser la dynamique d'un système réparable en présence de différents états.	Quantitative Inductive Dynamique
Réseaux de Pétri	Modéliser le comportement dynamique d'un système réparable en présence de pannes.	Quantitative Inductive Dynamique
Simulation de Monte Carlo	Modéliser finement le comportement d'un système complexe.	Quantitative - -
Analyse de zone	Mettre en évidence les problèmes résultant des interactions physiques entre éléments voisins ou de flux perturbateurs générés par des sources externes.	Qualitative Inductive Statique
Analyse temporelle	Identifier les interactions temporelles.	Qualitative - -
Analyse des causes communes de défaillance	Identifier les causes susceptibles d'entraîner plusieurs défaillances simultanées.	Qualitative Déductive Statique
Analyse des conditions insidieuses	Identifier les causes de fonctionnement anormal hors défaillance.	Qualitative Déductive Statique
Méthode de la Table de Vérité / Décision (MTV/MTD)	Identifier tous les états (fonctionnement ou panne) du système à partir des comportements binaires de ses composants.	Quantitative Inductive Dynamique
Méthode du Nœud Papillon	Visualiser concrètement des scénarios d'accidents qui pourraient survenir en partant des causes initiales de l'accident jusqu'aux conséquences au niveau des cibles identifiées.	Quantitative Déductive / Inductive Statique
Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnement des Systèmes / Méthode Organisés Systémique d'Analyse de Risques (MADS / MOSAR)	Modéliser le danger comme un ensemble de processus au sens systémique du terme. Identifier a priori les dangers d'un élément d'installation et, par conséquent, aux risques si l'on connaît les cibles, dans un contexte donné. Définition des barrières de prévention et de protection.	Quantitative / Qualitative Déductive Statique
⁽¹⁾ L'Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets (AMDE), sans l'analyse de Criticité, est une méthode qualitative.		

2.3 Présentation détaillée des méthodes d'analyse de risques

Nous allons maintenant examiner chacune de ces modélisations techniques plus en détail.

2.3.1 Méthode de l'Arbre des causes

Objectif

La méthode de l'Arbre des Causes 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 causes 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.

Remarque : Cette méthode est souvent considérée à tort, selon Y. Mortureux, comme équivalente à la Méthode de l'Arbre de Défaillance.

Démarche

La démarche de l'arbre des causes comprend trois phases : le recueil d'information, la construction de l'arbre et l'exploitation de cet arbre.

Recueil d'information

L'arbre des causes est une représentation graphique de l'ensemble des causes et leurs combinaisons ayant contribué à la réalisation d'un scénario de défaillance particulier. Avant de représenter cette information, il faut au préalable la collecter. Il existe pour cela différentes techniques :

- **introspection** : auto-analyse de l'expert des connaissances qu'il possède. Les limites de cette méthode sont d'une part l'aspect très subjectif des retranscriptions de l'expert et d'autre part des erreurs de compréhension lors de l'utilisation de ces données ;
- **description phénoménologique** : méthode de description du vécu, en éliminant le plus rigoureusement possible l'explication de ce phénomène. Il s'agit donc d'une retranscription des faits observés par l'expert sans analyse par règle experte. Cette méthode semble peu répondre à notre problématique, puisque nous cherchons à recueillir les dires d'expert et non les faits observés par un expert ;
- **entretiens et interviews** : un interviewer cherche à recueillir directement ou indirectement les connaissances d'un ou de plusieurs interviewé (experts). Un entretien est soit directif (l'interviewer questionne l'interviewé) soit semi-directif (l'interviewé reformule régulièrement au cours de l'entretien les propos de l'interviewer et demande confirmation) soit non-directif / ouvert (l'entretien repose sur l'expression libre des idées de l'interviewé sur un sujet). Cette méthode semble la mieux adaptée à notre problématique, cependant la compréhension de l'interviewé par l'interviewer peut être partiellement inexacte, ce qui introduit de l'imprécision dans les données issues de dires d'expert.

Construction de l'arbre des causes

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, ...). Normalement on a aussi alors utilisé toute l'information collectée précédemment.

Exploitation de l'arbre des causes

L'exploitation normale d'un arbre des causes est la recherche de mesures, c'est-à-dire de modifications du système susceptibles de prévenir une nouvelle occurrence de la défaillance étudiée. Dans ce sens il faut considérer les conséquences de cette défaillance, c'est-à-dire que les mesures doivent empêcher que le scénario aboutisse aux mêmes conséquences dommageables.

La démarche consiste à passer en revue les causes de l'arbre et pour chacune d'elles à se demander :

- qu'est ce qui pourrait empêcher cette cause de se produire ?
- qu'est ce qui pourrait en réduire les conséquences ?

A priori, la première question n'est pas pertinente pour les causes « normales ». Toutefois, il est utile de se demander si on n'accepte pas comme « normale », par habitude, une cause dangereuse. Il faut alors, malgré le poids généralement très fort des justifications dues à l'habitude, chercher à rendre anormale cette cause.

Nous appelons mesure une proposition de modification du système pour remédier à une occurrence forte de défaillance.

Une fois les idées de mesures recueillies, elles doivent être triées et évaluées. Le tri s'effectue de la manière suivante :

- s'assurer que la mesure proposée, si elle fonctionne, a bien les effets attendus,
- s'assurer grossièrement qu'elle n'est pas irréaliste,
- s'assurer grossièrement qu'elle n'a pas d'effets négatifs inacceptables.

Après ce tri, les mesures non éliminées doivent être évaluées :

- quels sont les effets attendus de la mesure sur le scénario étudié ? (a priori plus une mesure intervient en amont d'un arbre plus elle est prometteuse, mais ce n'est pas toujours confirmé) ;

- quels sont les effets attendus de cette mesure en dehors du scénario d'accident étudié ?
- quelle valeur globale attribuer à l'ensemble des effets prévisibles de cette mesure ?
- quel coût pour la mesure ?

L'évaluation d'une mesure doit prendre en compte ce qu'elle est censée apporter modulé à la fois par le taux de succès qu'on peut espérer et par son coût. Le délai raisonnable de mise en œuvre de la mesure doit être pris en compte dans l'évaluation de son apport. Les effets d'une mesure ne se limitent pas à son impact sur le scénario décrit par l'arbre des causes ; il faut chercher dans toutes les directions. Chaque mesure peut donc apparaître avec ses avantages, ses inconvénients et ses coûts. On peut évidemment les classer par ordre de rapport avantage / inconvénient et coûts. Mais on peut faire mieux en recherchant des combinaisons de remèdes complémentaires dont les avantages s'additionnent bien alors que les inconvénients de chacun sont réduits par les autres.

Illustration

Exemple :

Considérons un escalier à structure métallique accolé à un mur avec des antidérapants sur les nez de marche, une main courante fixée à ce mur et une personne descendant cet escalier. Un arbre des causes conduisant à l'événement redouté « la personne chute dans l'escalier » peut être le suivant :



Figure III-2 : Exemple d'arbre des causes pour le cas d'une chute dans un escalier

En examinant l'arbre des causes de la *Figure IV-1*, nous pouvons proposer les mesures suivantes :

- mettre des tapis au niveau des accès provenant de l'extérieur,
- vérifier régulièrement les fixations de la main courante,
- installer des mains courantes de manière à pouvoir les attraper quelle que soit la position dans l'escalier,
- installer des marches absorbant l'eau,

- prévoir une vérification et une réparation immédiate (en cas de dégradation) des nez de marche antidérapants,
- prévoir une campagne d'information des dangers de chute dans les escaliers.

On remarque que les mesures proposées non pas le même coût (achat et entretien d'un tapis et campagne d'avertissement par exemple), que le délai d'application n'est pas identique (installation d'une nouvelle main courante et installation d'un tapis par exemple), que les personnes qui devront appliquer ces mesures ne sont pas les mêmes (vérification régulière des fixations et mise en place d'une campagne d'avertissement par exemple) et que le gain en sécurité apporté par ces mesures n'est pas identique (installation d'un tapis et campagne d'information par exemple).

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.

2.3.2 Méthode de l'Arbre de Défaillance ou de Défaut ou de Faute

Objectif

Un arbre de défaillance représente de façon synthétique l'ensemble des combinaisons d'événements qui peuvent conduire à une défaillance. Construire un arbre revient à répondre à la question « comment telle défaillance peut-elle arriver ? », ou « quels sont les scénarios(enchaînements d'événements) possibles qui peuvent aboutir à cette défaillance ? ». Cette recherche des combinaisons de causes pouvant provoquer une défaillance se poursuit par une recherche des coupes minimales (ensembles d'événements de base, ou de conditions, nécessaires et suffisants à produire la défaillance) puis une évaluation de la vraisemblance de la survenue de la défaillance à partir de la combinaison des vraisemblances que les événements élémentaires se produisent.

Remarque : En anglais cette méthode se nomme la Fault Tree Method.

Distinction entre les méthodes des Arbres de Défaillance, des Causes et d'Événement

Ces trois méthodes ont en commun de représenter la logique d'un système sous forme arborescente. Cependant ces méthodes répondent à des besoins différents et ne contiennent pas les mêmes informations.

La figure 9 schématise les principales distinctions que l'on peut faire, du point de vue des objectifs attendus, entre ces trois méthodes.

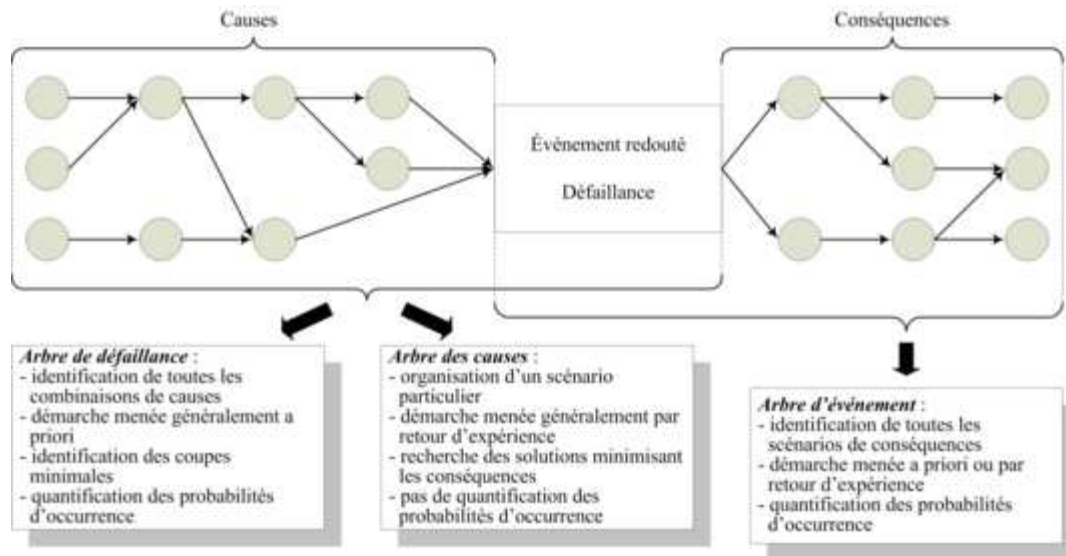


Figure III-3 : Distinction entre arbres de défaillance, des causes et d'événements

Démarche

La méthode de l'arbre de défaillance comprend une partie qualitative, qui correspond à la construction de l'arbre et la recherche des coupes minimales, et une partie quantitative qui vise à évaluer les probabilités d'occurrence au niveau des événements élémentaires, des coupes minimales et au niveau de la défaillance.

Construction d'un arbre de défaillance

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

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

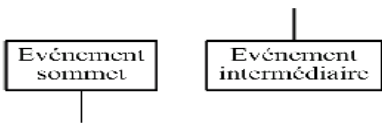


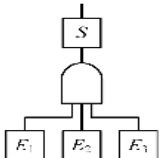
La deuxième étape consiste à décrire l'ensemble des événements, par des combinaisons logiques (conjonction ou disjonction), pouvant engendrer l'événement sommet. Il apparaîtra

donc des événements moins globaux que l'événement sommet, que l'on nommera événements intermédiaires, et un connecteur logique qui les relie à l'événement sommet.

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

Il existe un ensemble de symboles normalisés permettant de représenter l'événement sommet, les événements intermédiaires, les événements de base et les connecteurs. Les principaux symboles utilisés sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III-2 Principaux symboles d'un arbre de défaillance

Symbole	Nom du symbole	Signification du symbole
	Événement sommet et intermédiaire	-
	Événement de base	Événement qui ne se décompose plus en événements plus fin.
	Événement supposé de base	Il pourrait être subdivisé en événements plus fins mais il ne l'est pas faute de renseignements.
	Porte ET	L'événement de sortie (ici S) de la porte ET est généré si tous les événements d'entrée (ici E_1 , E_2 et E_3) sont présents simultanément.

	<p>Porte ET avec condition</p>	<p>L'événement de sortie (ici S) est généré si tous les événements (ici E_1 et E_2) sont présents et si la condition (ici E_1 est présent avant E_2) est réalisée.</p>
	<p>Porte OU avec condition</p>	<p>L'événement de sortie (ici S) est généré si l'un au moins des événements est présent (ici E_1 ou E_2) et si la condition est réalisée (ici, il faut que E_1 et E_2 ne soient pas présents simultanément). Cette porte est aussi nommée OU EXCLUSIF.</p>
	<p>Porte SI</p>	<p>L'événement de sortie (ici S) est généré si l'événement d'entrée (ici E_1) est présent et si la condition X est réalisée.</p>
	<p>Porte COMBINAISON m/n</p>	<p>L'événement de sortie (ici S) est généré si m des n événements d'entrée sont présents (ici il suffit que deux des événements E_1, E_2, E_3 ou E_4 soient présents).</p>
	<p>Triangle</p>	<p>La partie de l'arbre des causes qui suit le symbole (1) est transféré à l'emplacement indiqué par le symbole (2).</p>
	<p>Triangle inversé</p>	<p>Une partie semblable, mais non identique à celle qui suit le (3) est transférée à l'emplacement indiqué par le symbole (4).</p>

Recherche des coupes minimales

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

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

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

Quantification des probabilités d'occurrence

Il s'agit ici d'évaluer la probabilité d'occurrence de l'événement sommet à partir des probabilités d'occurrence des événements de base.

La probabilité d'occurrence de l'événement E, s'il peut résulter de A OU B (indépendants) est la somme des probabilités d'occurrence de A et B diminuée de leur produit ; ce qui peut se formuler ainsi :

$$p(E) = p(A) + p(B) - p(A) \times p(B) \quad [1]$$

La probabilité d'occurrence de l'événement E, s'il peut résulter de A ET B (indépendants) est le produit des probabilités d'occurrence de A et B ; ce qui peut se formuler ainsi :

$$p(E) = p(A) \times p(B) \quad [2]$$

En appliquant ces deux règles, on calcule de proche en proche les probabilités d'occurrence des événements intermédiaires jusqu'à celle de l'événement sommet à partir des probabilités d'occurrence des événements de base et des conditions.

Quand on combine des probabilités d'occurrence d'événements intermédiaires qui ont dans leur décomposition des éléments de base communs, il faut veiller à ne pas les compter deux fois, par exemple :

Si A, B et C sont indépendants

$$p[(A \text{ et } B) \text{ et } (A \text{ et } C)] = p(A) \times p(B) \times p(C)$$

et non .

$$p(A)^2 \times p(B) \times p(C)$$

On peut procéder de la même manière au calcul des probabilités d'occurrence des coupes minimales.

Illustration

Exemple :

Si l'on considère le cas du mur en béton armé revêtu d'un complexe isolant de la figure 2, on peut obtenir l'arbre de défaillance de la figure suivante :

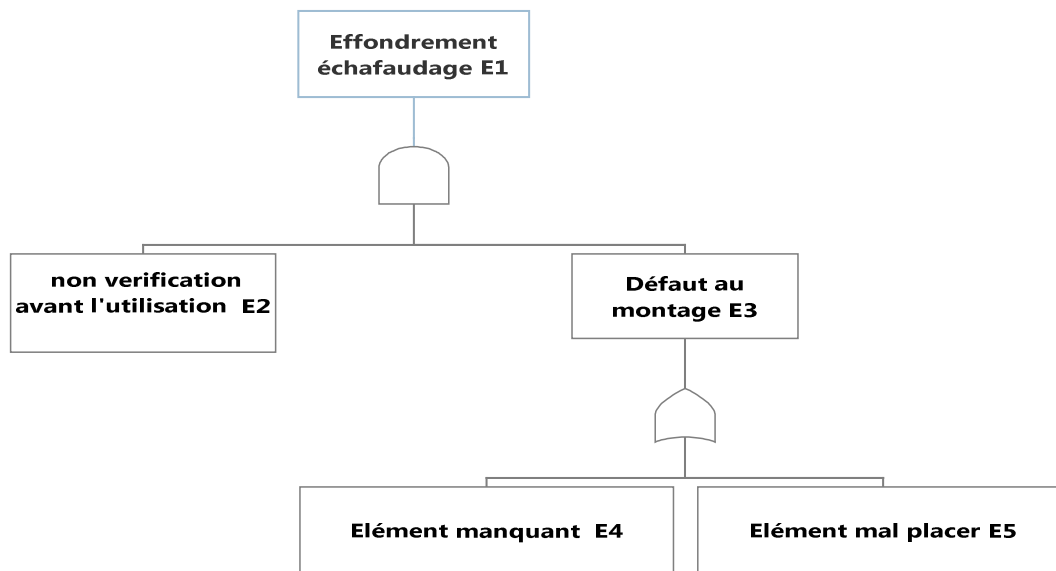


Figure III-4 : Exemple d'arbre de défaillance effondrement échafaudage

La liste des coupes minimales de cet arbre de défaillance est la suivante :

- Coupe de niveau 1 : «Effondrement échafaudage E1»
- Coupes de niveau 2 :
 1. E2 ,E3
- Coupes de niveau 3 :
 1. E4,
 2. E5,

Nous ne calculerons pas ici la probabilité d'occurrence de l'événement sommet « la dégradation d'un mur en béton » pour deux raisons :

- nous ne disposons pas des probabilités d'occurrence des événements de base,
- les événements de base et les événements intermédiaires ne sont pas indépendants les uns des autres et l'hypothèse de non dépendance des événements n'est alors pas respecté ; le résultat que l'on pourrait obtenir en calculant pas à pas les probabilités d'occurrence des événements intermédiaires à partir des probabilités d'occurrence des événements de base et des équations [1] et [2] serait donc erroné.

Le calcul de la probabilité d'occurrence de l'événement sommet correspond à une analyse quantitative. Cependant, il s'agirait d'une analyse qualitative si ces occurrences étaient estimées linguistiquement et que l'on proposait une règle permettant d'obtenir la valeur linguistique de l'occurrence d'un événement intermédiaire à partir de la connaissance des combinaisons entre ses événements de base et les occurrences de ces événements de base, c'est-à-dire avoir des règles équivalentes aux équations [1] et [2].

Intérêts et limites

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

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

Les principales limites de cette méthode sont les suivantes :

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

2.3.3 Méthode de l'Arbre des Conséquences ou Arbre d'Événement

Objectif

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.

Remarque :

En anglais cette méthode se nomme la Event Tree Method.

Démarche

Les arbres d'événement 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'événement permettent de déterminer l'enchaînement des événements ainsi que le résultat final : succès ou échec. Les arbres d'événements sont donc en général binaires, les événements étant supposés soit arrivé, soit non (Zwingselstein, 95).

La *Figure IV-4* représente un arbre d'événement 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.

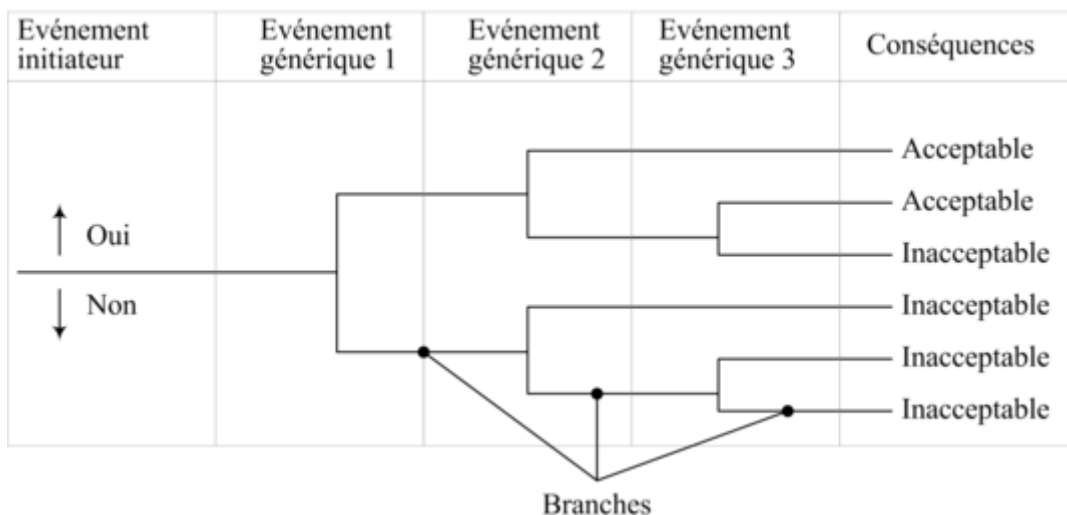


Figure III-5 : Schématisation d'un arbre d'événement

L'évaluation quantitative des arbres d'événements 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.

Deux utilisations de l'arbre obtenu sont alors possibles :

- l'approche déductive : une fois l'arbre construit, il est réduit, c'est-à-dire que certaines séquences sont supprimées en raison de leur incohérence. L'arbre des conséquences « systèmes » est déduit en remplaçant dans l'arbre précédent les fonctions par les systèmes de sûreté correspondants. Il est souvent utile de revoir l'ordre des événements génériques en raison des interactions entre fonctions de sûreté, ce qui permet également de simplifier l'arbre. La mise en ordre est guidée par les aspects temporels, les interactions fonctionnelles et les interactions entre systèmes élémentaires. Une simplification à l'aide de l'algèbre booléenne est également possible.
- l'approche inductive : elle est basée sur la méthode MCPR qui permet l'élaboration des pannes résumées globales. Celles-ci permettent la sélection des événements initiateurs et ensuite l'élaboration des arbres des conséquences. La simplification des arbres des conséquences est réalisée sur les mêmes critères et à l'aide des méthodes que dans l'approche déductive.

Illustration

Exemple :

L'arbre d'événement correspondant à un événement initiateur « tuyau de gaz arraché »

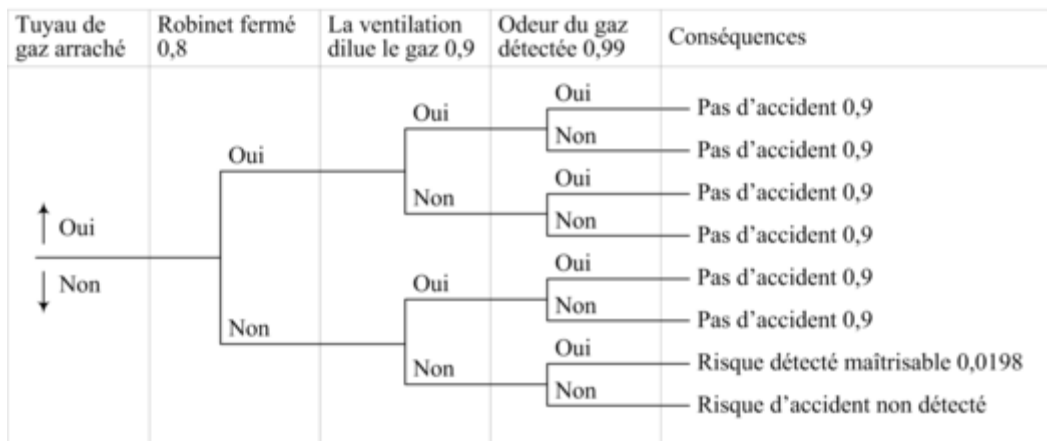


Figure III-6 Arbre d'événement quantifié d'un "tuyau de gaz arraché"

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).

2.3.4 HAZard and OPerability HAZOP :

Objectif

La méthode HAZOP a été développée par la société Imperial Chemical Industries (ICI) au début des années 1970. Elle a depuis été adaptée dans différents secteurs d'activité.

Considérant de manière systématique les dérives des paramètres d'une installation en vue d'en identifier les causes et les conséquences, cette méthode est particulièrement utile pour l'examen de systèmes thermo-hydrauliques, pour lesquels des paramètres comme le débit, la température, la pression, le niveau, la concentration... sont particulièrement importants pour la sécurité de l'installation. On s'intéresse à l'influence des déviations par rapport à leurs valeurs nominales des divers paramètres physiques régissant le procédé.

Démarche

Méthode :

L'HAZOP suit une procédure assez semblable à celle proposée par l'AMDE. L'HAZOP ne considère plus des modes de défaillances mais les dérives potentielles (ou déviations) des principaux paramètres liés à l'exploitation de l'installation. De ce fait, elle est centrée sur l'installation à la différence de l'AMDE qui est centrée sur les composants.

Une caractéristique fondamentale de la méthode est sa mise en œuvre en équipe pluridisciplinaire sous la direction d'un animateur. Pour stimuler le « processus de réflexion créative » des mots clés, représentant des déviations par rapport aux valeurs nominales, sont utilisés : plus, moins, pas, etc. Les déviations de chaque paramètre d'intérêt (pression, température, débit, etc.) sont passées en revue l'une après l'autre afin de mettre en évidence leurs causes, leurs conséquences, les moyens de détection et les actions correctrices (automatiques ou manuelles) nécessaires lorsqu'une déviation dangereuse a été détectée. Les déviations potentiellement dangereuses sont ensuite hiérarchisées selon le couple (fréquence, gravité) afin de déterminer les actions futures à engager.

Les phases de l'HAZOP sont les suivantes :

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

Tout comme pour l'analyse préliminaire de risques et l'analyse des modes de défaillances et de leurs effets, les résultats de cette analyse sont généralement regroupés dans un tableau de synthèse, tel que présenté au tableau IV-3

Tableau III-3 : Exemple tableau HAZard and OPerability

N°	Mot clé	Paramètre	causes	Conséquences	Détection	Sécurité existantes	Proposition D'amélioration	Observation

Les mots-clés, accolés aux paramètres importants pour le procédé, permettent de générer de manière systématique les dérives à considérer. Des exemples de mots-clés dont l'usage est particulièrement courant .Ces mots-clés sont repris dans le tableau ci-dessous.

Tableau III-4 : Exemple de mots-clés pour l'HAZard and OPerability

Type de déviation	Mot-guide	Exemples d'interprétation
Négative	Ne pas faire	Aucune partie de l'intention n'est remplie
Modification quantitative	Plus	Augmentation quantitative
	Moins	Diminution quantitative
Modification qualitative	En plus de	Présence d'impuretés – Exécution simultanée d'une autre opération / étape
	Partie de	Une partie seulement de l'intention est réalisée
Substitution	Inverse	S'applique à l'inversion de l'écoulement dans les canalisations ou à l'inversion des réactions chimiques
	Autre que	Un résultat différent de l'intention originale est obtenu
Temps	Plus tôt	Un événement se produit avant l'heure prévue
	Plus tard	Un événement se produit après l'heure prévue
Ordre séquence	Avant	Un événement se produit trop tôt dans une séquence
	Après	Un événement se produit trop tard dans une séquence

Les paramètres auxquels sont accolés les mots-clés dépendent du système considéré.

Généralement, l'ensemble des paramètres pouvant avoir une incidence sur la sécurité de l'installation doit être sélectionné. La combinaison de ces paramètres avec les mots clés précédemment définis permet de générer des dérives de ces paramètres.

De la même façon que pour une AMDE, le groupe de travail, une fois la dérive envisagée, doit identifier les causes de cette dérive, puis les conséquences potentielles de cette dérive. En pratique, il peut être difficile d'affecter à chaque mot clé (et dérive) une portion bien délimitée du système et en conséquence, l'examen des causes potentielles peut s'avérer, dans certains cas, complexe. Afin de faciliter cette identification, il est utile de se référer à des listes guides. La méthode HAZOP prévoit d'identifier pour chaque dérive les moyens accordés à sa détection et les barrières de sécurité prévues pour en réduire l'occurrence ou les effets. Si les mesures mises en place paraissent insuffisantes au regard du risque encouru, on peut proposer des améliorations en vue de pallier à ces problèmes ou du moins on peut définir des actions à engager pour améliorer la sécurité quant à ces points précis.

Illustration

Exemple :

L'illustration de l'HAZOP sur un climatiseur – convecteur est synthétisée dans le tableau III-3

Tableau III-5 : Tableau d'HAZOP d'un climatiseur - convecteur

N°	Mot clé	Paramètre	Causes	Conséquences	Détection	Sécurités existantes	Propositions d'amélioration
1	Ne pas faire	Froid	Plus d'alimentation	Augmentation de la température	Sensation de chaud, thermomètre	Aucune	Installer un témoin de tension
2			Dysfonctionnement de l'appareil				Diminution de la température
3	Dérèglement du thermostat						
4	Dysfonctionnement de l'appareil						
5	Dérèglement du thermostat						
6	Dysfonctionnement de l'appareil		Augmentation de la température	Sensation de chaud, thermomètre			
7	Ne pas faire	Chaud	Plus d'alimentation	Diminution de la température	Sensation de froid, thermomètre	Aucune	Installer un témoin de tension
8			Dysfonctionnement de l'appareil				Augmentation de la température
9	Dérèglement du thermostat						
10	Dysfonctionnement de l'appareil						
11	Dérèglement du thermostat						
12	Dysfonctionnement de l'appareil		Diminution de la température	Sensation de froid, thermomètre			

Intérêts et limites

L'HAZOP est un outil particulièrement efficace pour les systèmes thermohydrauliques. Cette méthode présente tout comme l'AMDE un caractère systématique et méthodique. Considérant, de plus, simplement les dérives de paramètres de fonctionnement du système, elle évite entre autres de considérer, à l'instar de l'AMDE, tous les modes de défaillances possibles pour chacun des composants du système. En revanche, l'HAZOP permet difficilement d'analyser les évènements résultant de la combinaison simultanée de plusieurs défaillances. Par ailleurs, il est parfois difficile d'affecter un mot clé à une portion bien délimitée du système à étudier. Cela complique singulièrement l'identification exhaustive des causes potentielles d'une dérive. En effet, les systèmes étudiés sont souvent composés de parties interconnectées si bien qu'une dérive survenant dans une ligne peut avoir des conséquences ou à l'inverse des causes dans une maille voisine et inversement. Bien entendu, il est possible a priori de reporter les implications d'une dérive d'une partie à une autre du système. Toutefois, cette tâche peut rapidement s'avérer complexe.

2.3.5 Analyse Préliminaire des Risques / Dangers

Objectif :

L'analyse préliminaire des dangers a pour objectif d'identifier les dangers d'une installation et ses causes, d'évaluer la gravité des conséquences. L'identification des dangers est effectuée grâce à l'expérience et à la connaissance des experts et à des « listes d'éléments et de situations dangereuses en fonction du domaine d'application ».

Une Analyse Préliminaire des Risques inclue en plus une estimation de la probabilité d'occurrence des situations dangereuses et des accidents potentiels ainsi que leurs effets et conséquences, ce qui permet de proposer des mesures pour les supprimer.

Démarche

Schématiquement, la méthode que l'on classe en principe parmi les méthodes inductives, consiste à déterminer les accidents potentiels que peuvent provoquer les éléments dangereux tirés d'une liste ad hoc. Ces listes, adaptées au domaine concerné, sont améliorées et complétées au fur et à mesure que des études de ce type sont réalisées sur des systèmes similaires, ce qui permet de mettre plus rapidement en évidence les risques principaux inhérents au système étudié.

D'autres descripteurs sont pris en considération dans l'analyse, comme les dommages causés par les accidents potentiels et leur gravité. Les mesures de prévention ou de protection appropriées sont ensuite décrites en regard des accidents potentiels considérés.

L'analyse préliminaire des risques a pour support un tableau à colonnes dont un exemple est donné au tableau III-4 :

Tableau III-6 : *Exemple de tableau d'analyse préliminaire de risques (Leroy, 92)*

Phase	Elément dangereux	Événement causant situation dangereuse	Situation dangereuse	Événement causant Accident potentiel	Accident potentiel	conséquence	Mesures préventive

Les colonnes « gravité » et « conséquences » permettent de hiérarchiser les risques rencontrés et les colonnes « mesures préventives » et « application des mesures » conduisent à s'interroger sur ce qui pourrait être fait pour détecter, maîtriser, voire éliminer le risque mis en évidence. Ces colonnes indiquent les mesures sélectionnées pour être mise en œuvre et éventuellement leur efficacité.

Dans la pratique, toutefois, une démarche essentiellement déductive est souvent choisie pour élaborer une analyse préliminaire de risques : les accidents potentiels sont le point de départ de l'analyse. Pour chaque accident potentiel, on identifie alors les situations dangereuses qui peuvent précéder celui-ci. La description des mesures de prévention ou de protection demeure néanmoins l'aboutissement habituel de la démarche.

Illustration

Exemple :

L'analyse préliminaire de dangers est illustrée sur les accidents pouvant survenir lors de la réalisation d'un mur en béton armé banché. Les éléments du système étudié sont :

- Matériel : banche extérieure, banche intérieure, compas, cales de banche, vis, fixations de mannequin, mannequin, grue, goulotte, perceuse, tournevis,
- Matériau : béton, ferrailage,
- Personne : grutier, compagnons

Le tableau III-5 : regroupe les résultats de cette analyse préliminaire de dangers d'un seule phase .

Tableau III-7 :Analyse préliminaire de danger de la réalisation d'un mur en béton armé banché

Phase	Élément dangereux	Événement causant situation dangereuse	Situation dangereuse	Événement causant accident potentiel	Accident potentiel
Fixation des cales de banches	Perceuse	Perçage	Déviations de la perceuse	Non maîtrise de la perceuse	Blessure aux pieds ou aux jambes
	Cale + Tournevis	Vissage	Éclatement de la cale	Projection de morceaux de cale	Blessure aux pieds ou aux jambes ou aux mains ou au visage
	Vis + Tournevis	Vissage	Rupture de la vis	Projection de morceaux de vis	Blessure aux pieds ou aux jambes ou aux mains ou au visage

Intérêts et limites :

Cette méthode n'est pas destinée à entrer dans les détails mais plutôt à mettre rapidement en évidence les gros problèmes susceptibles d'être rencontrés sur le système étudié. Cette analyse est généralement conduite dès le tout début de la conception du système. Elle est ensuite mise à jour au fur et à mesure de l'avancement de la conception, voire de la vie du système en exploitation.

Cette méthode est relativement économique en terme de temps passé et ne nécessite pas un niveau de description du système étudié très détaillé.

En revanche, l'analyse préliminaire de risque ne permet pas de caractériser finement l'enchaînement des événements susceptibles de conduire à un accident majeur pour des systèmes complexes. Il s'agit d'une méthode préliminaire d'analyse qui permet d'identifier des points critiques devant faire l'objet d'études plus détaillées ; grâce à des outils comme l'AMDEC, l'HAZOP ou l'analyse par arbre des défaillances.

Toutefois, son utilisation seule peut être jugée suffisante dans les systèmes simples ou lorsque le groupe de travail possède une expérience significative de ce type d'approche.

2.3.6 Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC).

Objectif

L'objectif est de déterminer les effets des modes de défaillance des composants sur le système. Sur la base d'une analyse fonctionnelle, on assiste à l'analyse des modes de défaillances et de leurs effets. fonctions}, les modes de dégradation de l'état considéré, les causes de ces modes de dégradations et leurs conséquences sur le système étudié.

Analysis of the Criticity permet de hiérarchiser les modes de défaillance, par ordre d'importance. L'analyse des modes de défaillances et de leurs effets seuls correspond à une analyse qualitative et devient une analyse quantitative lorsqu'une analyse de la criticité est produite.

Remarque :

En anglais cette méthode se nomme FMECA failure mode, effects and criticality analysis

Démarche

L'AMDEC a été mise au point dans les années 1960, outre-Atlantique, pour les domaines de l'armement nucléaire et de l'aéronautique. Cette méthode s'est peu à peu imposée dans les domaines industriels tels que le spatial, la chimie, l'industrie automobile, les centrales nucléaires. C'est actuellement une des méthodes d'analyse des risques (de défaillances) la plus universellement utilisée dans l'industrie.

Elle fait l'objet de normes internationale (CEI 60812) ou norme européenne (EN 60812) et de référentiels spécifiques à des domaines industriels, tels que ceux développés dans l'industrie automobile par Renault, PSA, Ford,...

Un pré requis essentiel à la réalisation d'une AMDEC est qu'« il faut bien connaître le fonctionnement du produit qui est analysé ou avoir les moyens de se procurer l'information auprès de ceux qui la détiennent ». L'AMDEC commence donc nécessairement par une analyse fonctionnelle ; il s'agit d'une démarche normalisée. L'intégration de l'analyse fonctionnelle et les principales phases d'une démarche AMDEC sont présentées à la figure IV-6 .

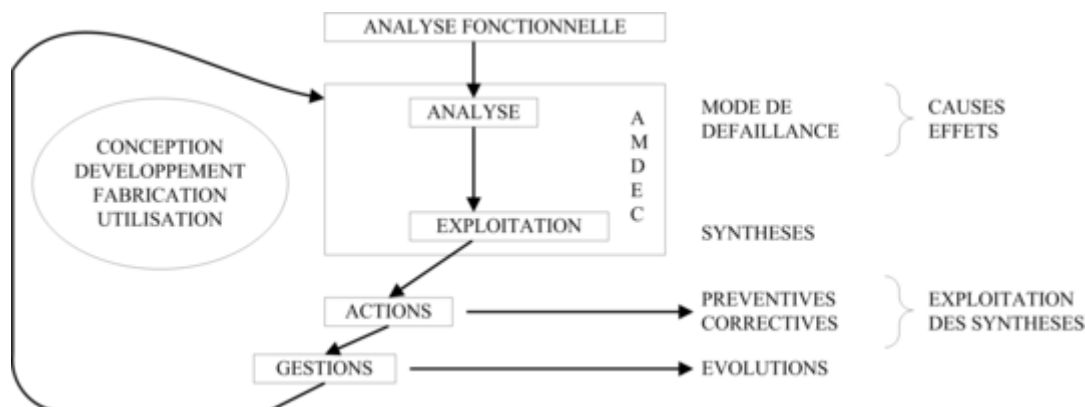


Figure III-7 : Principales phases d'une démarche d'AMDEC

« L'AMDEC n'est pas une simple grille ou un formulaire à renseigner, mais il s'agit avant tout d'une méthode, c'est-à-dire une démarche ordonnée et raisonnée, une façon de

penser, développée par rapport à un objectif précis ... identifier les modes de défaillance potentiels et traiter ces défaillances avant qu'elles ne surviennent, en vue de les éliminer ou d'en minimiser les conséquences. » . Les principales caractéristiques de cette méthode sont les suivantes : -

- elle analyse la fiabilité du système : la façon dont il assure (ou non) les fonctions pour lesquelles il a été conçu ;
- il s'agit d'une analyse exhaustive, de part sa démarche très systématique permettant de lister tous les composants du système, identifier les différents modes de défaillance qui peuvent les affecter et les conséquences sur le système, l'environnement, les personnes ;
- il s'agit d'une méthode analytique : l'étude du système s'obtient par l'étude de ses composants et de leurs interactions ;
- il s'agit d'une démarche inductive : partant de l'identification des défaillances qui peuvent affecter un composant du système considéré dans un environnement, elle amène à identifier l'effet de ces défaillances sur le système ;
- il s'agit d'une analyse uniquement qualitative pour l'AMDE. C'est l'analyse de criticité qui adjoint l'aspect quantitatif à la méthode.

Il est souvent fait référence à des tableaux ou des grilles AMDEC. Il s'agit, en fait, de formaliser dans des tableaux à colonnes la réflexion menée. Il n'existe pas de tableaux standard, il serait en effet peu judicieux d'utiliser indifféremment la même grille dans tous les domaines industriels.

Néanmoins, les tableaux AMDEC contiennent généralement, selon (Afnor,) les colonnes suivantes :

- le nom de l'élément du système analysé,
- la fonction remplie par l'élément,
- les modes de défaillance,
- les causes de défaillance,
- les effets de défaillance,
- des remarques ou observations,
auxquelles peuvent s'ajouter :
- le repère d'identification de l'élément,
- la phase de vie, le mode de fonctionnement,
- la probabilité d'apparition de la défaillance,
- les méthodes et moyens de détection des défaillances,
- la gravité / un jugement qualitatif sur l'importance de la défaillance,
- la criticité de la défaillance,
- le suivi / la testabilité / la validation / la vérification,
les actions correctives / les solutions de remplacement prévues.

Dans le domaine industriel, on distingue huit types d'AMDE(C) : AMDE(C) produit, AMDE(C) process ou procédé, AMDE(C) machine, AMDE(C) montage, AMDE(C) contrôle, AMDE(C) service et AMDE(C) prestation de service ;

Intérêts et limites

L'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC), de part son apparente simplicité d'application, séduit et est souvent utilisée dans le domaine industriel. Mais, de même que l'habit ne fait pas le moine, l'entête de l'AMDEC ne fait pas l'exhaustivité de ses résultats. En effet, seuls les moyens mis en œuvre pour identifier tous les composants et tous les modes de défaillance la « garantiront ». D'autre part, ces résultats ne représentent que l'état de connaissance du système étudié, à un moment donné.

La pertinence des résultats d'une AMDEC est assujettie à la connaissance structurelle et fonctionnelle du système qui est étudié. C'est pourquoi J. Lair, dans son adaptation de l'AMDE aux systèmes constructifs, a défini une démarche d'analyse structurelle et d'analyses fonctionnelles de ces systèmes. L'étape d'AMDE elle-même, se décompose en une AMDE processus (phase de mise en œuvre) suivie d'une AMDE produit (phase de vie en œuvre).

Dans le domaine de l'industrie oil and gas, l'AMDE(C) suscite un intérêt grandissant, comme en témoigne son application par des organismes de recherches et dans des projets nationaux et internationaux.

On peut néanmoins retenir les principaux avantages et limites de l'AMDEC suivants :

- * la démarche AMDEC permet de générer une base d'information puissante pour définir, améliorer, corriger et valider une conception, un procédé ou un moyen, tout au long de la vie du produit, depuis la conception jusqu'à sa fin de vie,
- * l'exhaustivité des résultats est liée à une démarche systématique d'identification des défaillances et ne sera au mieux qu'un reflet de l'état de connaissance, à un moment donné, du fonctionnement et des défaillances d'un produit,
- * la qualité des résultats est assujettie à la connaissance structurelle et fonctionnelle du système étudié,
- * la réalisation d'une AMDE(C) présente une certaine lourdeur et est couteuse en temps,
- * Dans le domaine de la construction, cette méthode est utilisée au cas par cas. Il n'existe donc pas de démarche systématique de réalisation d'une AMDE ni une volonté de réutilisation des résultats obtenus pour un système constructif particulier pour l'étude d'un autre système. Ceci peut s'expliquer par le fait que les conséquences de la défaillance des produits de construction sont plus difficilement quantifiables financièrement que celles de la défaillance d'un produit industriel,
- * les phénomènes combinatoires ou dynamiques sont difficiles à prendre en compte ; d'autres méthodes (arbre des défaillances, méthode de combinaison de panne, ...) sont mieux adaptées,
- * seule la notion binaire de la défaillance est prise en compte (ou est explicite) dans les approches présentées.

Conclusion

Les méthodes d'analyse des risques est une démarche logique et de bon sens. Admettant qu'aucun système n'est infallible, elles consistent à identifier, décrire , évaluer les risques qui découlent des défaillances .Bien structurée, systématique, elles permettent d'atteindre cet objectif en confiance .

Dans le chapitre suivant nous allons étudier des cas précis dans l'industrie oilandgas dans différent entreprise en Algerie.

Introduction

L'analyse des dangers et des risques est une méthode systématique ayant pour but la connaissance des événements indésirables (accidents technologiques majeurs) associés à un projet ou à une installation existante, Les effets considérés sont généralement le décès et les blessures, de même que les dommages aux structures et à l'environnement. Elle permet de considérer les risques le plus tôt possible dans le processus de conception d'un projet en vue de lui apporter éventuellement des modifications afin de prévenir les accidents technologiques majeurs ou au moins de limiter leurs conséquences.

Différentes techniques pour une identification qualitative et/ou quantitative des dangers et une analyse qualitative des risques sont largement répandues. Il s'agit en fait de choisir la technique ou la combinaison de techniques la mieux adaptée pour répondre aux objectifs fixés. Pour la réalisation de cette tâche.

Ces techniques considérées individuellement ou combinées permettent généralement de répondre aux objectifs de l'analyse des risques.

Dans notre projet les méthodes utilisées pour la gestion des risques des filtres de gaz dans le 1^{er} site a Medgaz c'est la méthode AMDEC et Arbre de défaillance et dans le 2eme site gl2 sonatrach de la chaudière IHI c'est la méthode APR et HAZOP

1. Présentation de l'entreprise n°1 MEDGAZ :

MEDGAZ est l'entreprise chargée du design, construction et des opérations du **gazoduc** sous-marin entre l'Algérie et l'Europe, qui traverse l'Espagne. C'est le premier qui se construit à plus de 2000 mètres de profondeur dans la Méditerranée. Avec une capacité initiale de 8 milliards de mètres cubes par an, elle amène le gaz naturel directement de Beni Saf, sur la côte Algérienne, jusqu'à Almería, en Andalousie.

MEDGAZ est un projet international et multidisciplinaire qui offre la voie la plus directe et la plus économique d'approvisionnement en gaz naturel dans le sud de l'Europe.

Le projet a bénéficié de l'appui de l'Union Européenne qui l'a qualifié de "Projet d'Intérêt Commun" et lui a accordé une aide financière de 2 millions d'euros durant la phase d'étude et de design, ainsi qu'une autre de 1.4 millions d'euros lors de la phase de construction.

Sa mise en fonctionnement suppose une voie plus directe et économique pour l'approvisionnement du Sud de l'Europe, ce qui bénéficie le consommateur final, et constitue une contribution positive aux objectifs marqués par le Protocole de Kyoto, en rapprochant une énergie propre, comme est le gaz naturel.

1.2 Associés :

MEDGAZ est un consortium de **trois sociétés** internationales: SONATRACH, CEPSA et GAS NATURAL FENOSA. Toutes ces sociétés possèdent une grande expérience dans le secteur énergétique et elles sont reconnues mondialement autant pour leurs compétences techniques que pour leur solvabilité financière.

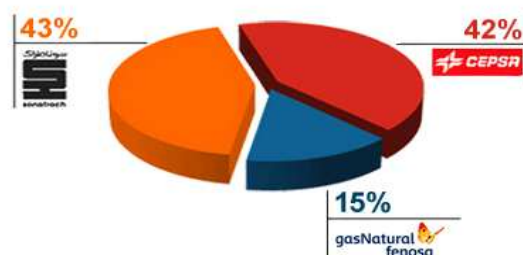


Figure IV-1 Diagramme des sociétés constituant Medgaz

1.3 Fiche technique :

Capacité: 8 bcm/an (8 milliards de m³/an).

Longueur: 210 km.

Diamètre: 24 pouces.

Profondeur d'eau maximale: 2.160 mètres.

Investissement: 900 millions d'euros.

Emploi: Plus de 2.000 personnes participeront à la phase de construction

1.4. Organisation :

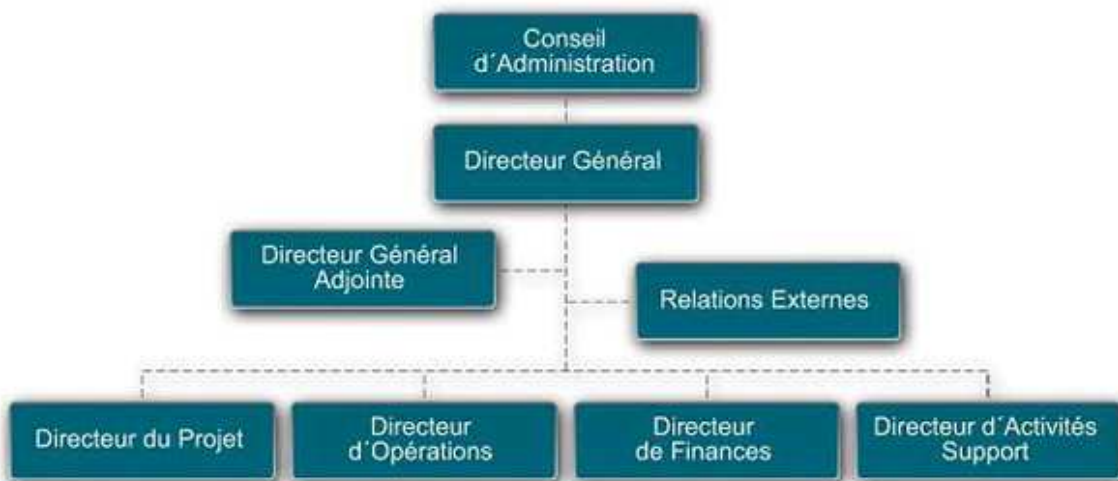


Figure IV-2 Organigramme de l'administration

MEDGAZ est une société multidisciplinaire où tous ses partenaires participent activement au développement du projet grâce à des équipes de travail

1.5 Histoire :

L'idée de construire un gazoduc direct entre l'Algérie et l'Europe est née dans les années soixante-dix. Dans le but d'étudier la viabilité d'une liaison sous-marine, des études sismiques, des analyses géologiques, des inspections visuelles du fond sous-marin et des études océanographiques ont été effectuées.

Cependant, les limitations techniques de l'époque empêchaient la construction et l'opération d'un gazoduc dans des eaux si profondes.

Ces limitations ont cependant disparu en **août 2000**, quand **CEPSA** et **SONATRACH** ont signé un protocole d'accord dans le but de reprendre le projet de construire un gazoduc entre l'Algérie et l'Europe, celui-là même qui avait été envisagé dans les années soixante-dix.

Février 2001 voit donc la création de la "**Sociedad para el Estudio y Promoción del Gasoducto Argelia-Europa, vía España S.A.**" (**MEDGAZ**).

A partir de ce moment-là, plusieurs sociétés internationales spécialisées en énergie manifestent leur intérêt de se joindre au projet. Actuellement, **MEDGAZ** est composé de trois sociétés dont les compétences techniques et la solvabilité financière sont largement prouvées

1.6 Le plan du site de benisaf :



Figure IV-3 Plan satellite du site de MEDGAZ

1.7. Description générale de l'installation :

Une description plus approfondie du site dans l'annexe IV-1

2. Application des méthodes d'analyse :

2.1 Limitation champ d'études

Notre étude se fait sur un seul filtre **séparateur** montré sur la Figure V-4

A. Présentation des filtres séparateurs



Figure IV-4 Filtre a gaz Medgaz Benisaf

Le collecteur d'aspiration assure l'alimentation des turbocompresseurs en quantités de gaz propre et sec.

Les filtres séparateurs (trois filtres) sont les équipements les plus importants du collecteur d'aspiration, ils sont de type à cartouche, horizontaux et installés en parallèle.

Un filtre séparateur comporte trois parties pour une suppression très efficace des petites particules liquides et solides du gaz. Les solides sont éliminés à la première section du filtre séparateur.

Une fois le gaz est entré dans le premier compartiment du filtre, sa vitesse est réduite et les grosses gouttelettes de liquide sont éliminées par l'action de la gravité et l'impact sur les surfaces d'un déflecteur.

Les gouttelettes restantes sous forme de brouillard non séparées du gaz sont entraînées vers les cartouches de la fibre de verre du filtre séparateur où par phénomène de coalescence finissent par prendre du volume et tombent.

Le troisième mécanisme de séparation permet la suppression du liquide après son agglomération.

Les matières solides sont retenues dans la première section du filtre et sont collectés dans un puisard et les liquides séparés du flux de gaz sont recueillis dans un autre puisard dans la deuxième section des filtres

Les liquides lourds/léger sont acheminés vers des ballons de drainage **1-V-04/1-V-03**.

B. Vérification procédures de travail et mesures de sécurité existants

Système anti-incendie et de détection du gaz

L'installation comprend une pompe électrique ; une pompe diesel ; une pompe jockey et un réseau incendie sous terrain en GRP.

Chaque turbocompresseur et turbogénérateur comprend un Système de détection et extinction automatique. Les bâtiments de contrôle sont dotés des systèmes de détection et extinction automatique. On peut trouver aussi des extincteurs portables à poudre et à CO₂.

Système de détection de feu :

L'objet de ce système est de prévenir les dangers contre l'incendie avant que le feu soit déclaré et éteindre le feu au moment de son apparition dans les zones les plus importantes qui comportent les équipements principaux de contrôle et de supervision tels que les panneaux de contrôle des machines, le système de sécurité de la station et les tableaux d'alimentation électrique.

Les différents types de détecteurs de feu sont : les détecteurs de fumée, les détecteurs de chaleur, les sirènes, les avertisseurs lumineux et les modules pour collecter les signaux des divers composants tels que les unités d'extinction, pressostats, détecteurs, sirènes.

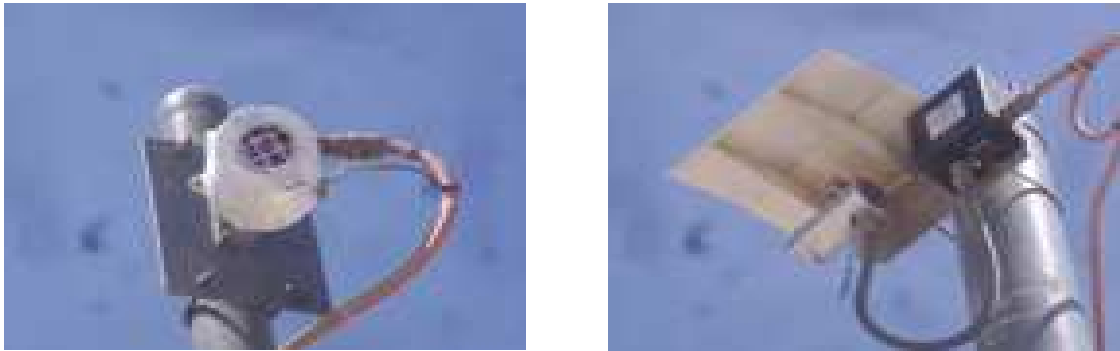


Figure IV-5 Les différents types de détecteurs de feu Medgaz

Station anti incendie :

L'objet de cette unité est de pressuriser le réseau anti-incendie à 9 bars, et garantir une alimentation en eau en continu pour intervention en cas de feu. Cette unité est composée de : Deux pompes centrifuges, pompe électrique principale, pompe diesel d'urgence, pompe jockey. La pression du réseau d'eau anti-incendie est maintenue par la pompe jockey, elle démarre et s'arrête automatiquement lorsque la pression atteindra 8 barg et 9 barg respectivement de façon à garder le réseau pressurisé. Dans le cas où il y a consommation d'eau et la pompe jockey ne peut pas fournir la quantité nécessaire et que la pression du réseau diminue en dessous du point de consigne (7,5 barg), la pompe électrique démarre automatiquement. Si la pression continue à diminuer en dessous du point de consigne (7 barg) ou la pompe électrique est indisponible, la pompe diesel de secours démarre automatiquement.



Figure IV-6 Station anti incendie

C.Plan de filtre (catridge filter) :

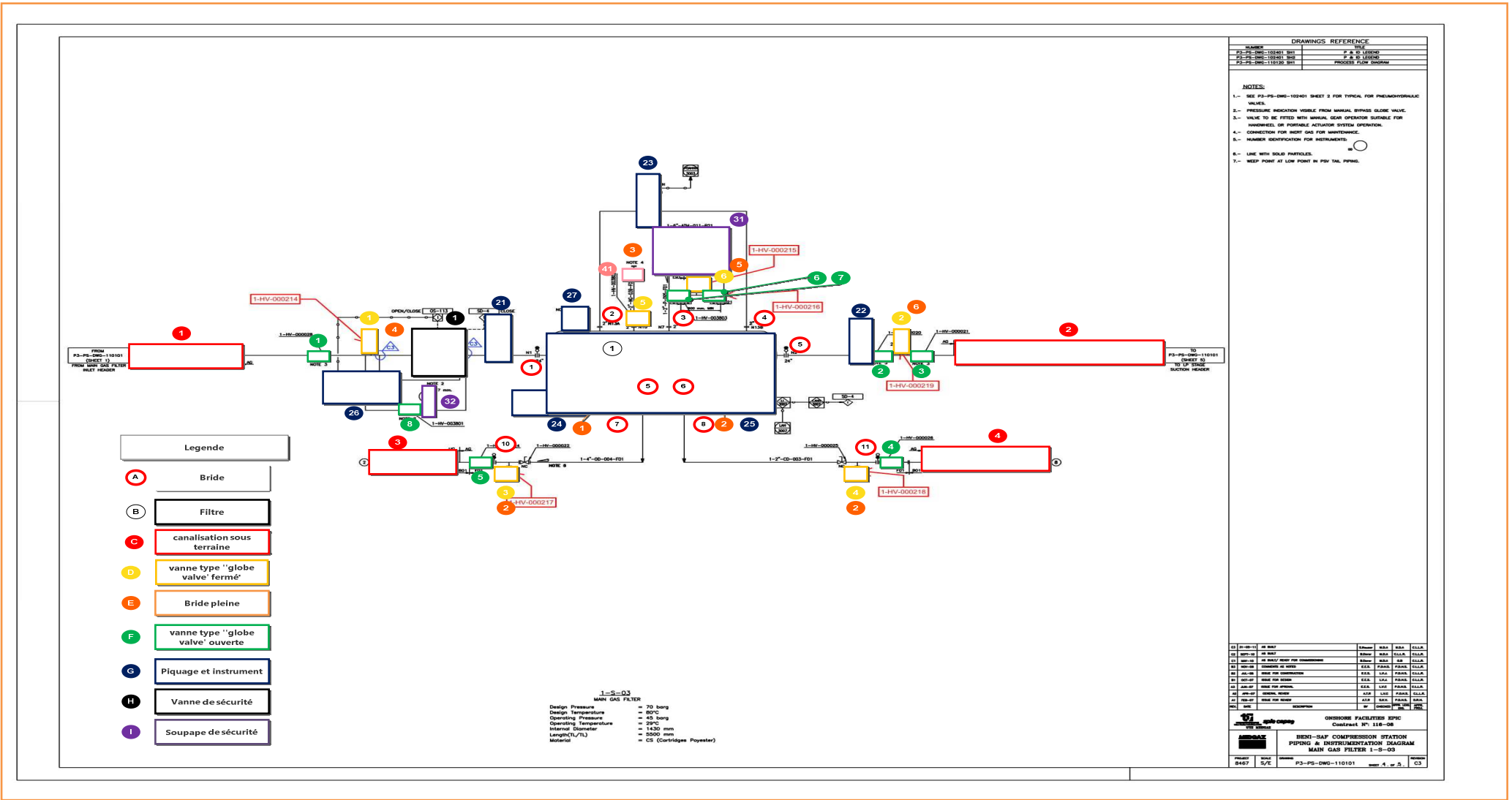


Figure IV-7 : Plan de filtre (catridge filter)

D.La Matrice des risques :Le niveau de risque d'un système est caractérisé par un nombre à multiplication de deux chiffre résultant du niveau de la gravité qui est représenté sur l'axe des abscisses dans la grille et du niveau de probabilité représenté sur l'axe des ordonnées.

A partir de cette grille on va constater 3 zones la zone inacceptable, la zone ALARP et la zone acceptable.
Fréquence :

Tableau IV-1 Matrice des risques

Index	Description
1	Une fois chaque 10 ans
2	Une fois chaque 5 ans
3	Une fois chaque 1 ans
4	Deux fois chaque 1 an

Dommmage :

Index	Description
1	Dommmage minime, sans arrêt, nécessitant une petite intervention
2	Dommmage minime, Arrête partiel, avec intervention du personnel local
3	Dommmage Important, nécessitant une intervention externe des experts
4	Dommmage majeur avec probabilité d'atteinte à l'hors site, Arrêt Total, Déclanchement du plan d'Urgence

Matrice des risques :

4	4	8	12	16
3	3	6	9	12
2	2	4	6	8
1	1	2	3	4
F/D	1	2	3	4

2.2. Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) :

Tableau IV-2 Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)

Composant	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Conséquence	S	L	R	Recommandations	Remarques
Canalisation sous terrain C1 C2 C3 C4	Faire circuler le gaz naturel sous pression	Fuite de gaz naturel	Rupture a cause de surpression	Fuite de gaz naturel à l'extérieur =>1.Inflammation 2.Accident choc a haute pression	1	4	4	Maintenance régulière	/
		Fuite de gaz naturel	Rupture a cause d'un défaut matériaux la nature de l'acier utilisé		1	4	4	Testes Réguliers	
		Fuite de gaz naturel	Rupture a cause d'un défaut de construction ou défaut de contrôle de la construction		1	4	4	Testes Réguliers	

		Fuite de gaz naturel	Rupture a cause de surcharge (causées par voies de circulation)		1	1	1	
		Fuite de gaz naturel	Rupture a cause de corrosion Interne d'agressivité du produit transporté		4	3	12	Maintenance régulière Protection cathodique
		Fuite de gaz naturel	Corrosion externe a cause d'agressivité du sol, corrosion bactérienne, dégradation revêtement Courant induit lignes HT		4	3	12	Maintenance régulière Brossage peinture Peinture anti corrosion Calorifuge

		Fuite de gaz naturel	Rupture a cause de mouvement de terrain		1	1	1	Testes Réguliers	
		Fuite de gaz naturel	Rupture a cause de phénomène liée a la nature du sol		3	1	1	Testes Réguliers	
		Fuite de gaz naturel	Rupture a cause de séisme		1	1	1	Testes Réguliers Etablir des sac en sable pour la stabilité de la conduite	
		Fuite de gaz naturel	Rupture a cause de gel		1	1	1	Testes Réguliers	
		Fuite de gaz naturel	Rupture a cause de foudre		1	1	1	Testes Réguliers	
		Fuite de gaz naturel	Rupture a cause de inondation		1	1	1	Testes Réguliers	
		Fuite de gaz naturel	Rupture a cause d'incendies de forêt		1	1	1	Testes Réguliers	

		Fuite de gaz naturel	contrainte liée a l'activité humaine		1	1	1	Testes Réguliers	
Vanne avant bride pleine D1 D2 D3 D4 D5 D6	Mode :fermé Ne pas faire circuler le gaz (Isolation)	Ouverture intempestive	Endommagement Usure avec le temps Défaut joint	fuite de gaz naturel à l'extérieur si les bride sont endommagé ou si il y a fuite dans la canalisation =>1.Inflammation 2.Accident choc a haute pression					
		Bloquée ouverte	Défaut de construction	Perte de temps en entretien	2	3	6	Maintenance régulière	/
		Ouverture partielle	Corrosion externe						
		Fuite	Corrosion Interne						
			Surpression						
			défaut matériaux						
			contrainte liée a l'activité humaine	Fuite de gaz naturel à l'extérieur si les bride sont endommagé ou si il y a fuite dans la canalisation =>1.Inflammation 2.Accident choc a haute pression	2	1	2	Maintenance régulière	

				Perte de temps en entretien				
			contrainte naturel	Fuite de gaz naturel à l'extérieur si les bride sont endommagé ou si il y a fuite dans la canalisation =>1.Inflammation 2.Accident choc a haute pression Perte de temps en entretien	2	3	6	Maintenance régulière
	Mode :ouvert Laisser circuler le gaz	Fuite interne	Endommagement Usure avec le temps Défaut joint Contrainte naturel Contrainte liée a l'activité humaine	Changement de vanne Perte de temps En entretien	3	3	9	Maintenance régulière /
		Fuite externe	Endommagement	Fuite de gaz naturel à	1	4	4	Maintenance régulière

			<p>Usure avec le temps</p> <p>Défaut joint</p> <p>Défaut de construction</p> <p>Corrosion externe</p> <p>Corrosion Interne</p> <p>Surpression</p> <p>défaut matériaux</p>	<p>l'extérieur =>1.Inflammation 2.Accident choc a haute pression Perte de temps en entretien</p>					
<p>Vanne F1 F2 F3 4F F5 F6 F7 F8</p>	<p>Mode :fermé Ne pas faire circuler le gaz (Isolation)</p>	<p>Bloquée ouverte</p> <p>Ouverture partielle</p>	<p>Endommagement</p> <p>Usure avec le temps</p> <p>Défaut joint</p> <p>Défaut de construction</p> <p>Corrosion externe</p>	<p>Changement de vanne</p> <p>Perte de temps</p> <p>En entretien</p>	3	3	9	Maintenance régulière	

			Corrosion Interne						
			Surpression						
			défaut matériaux						
		Fuite externe	Endommagem ent	Changement de vanne Perte de temps En entretien					
			Usure avec le temps						
			Défaut joint						
			Défaut de construction						
			Corrosion externe			1	4	4	Maintenance régulière
			Corrosion Interne						
			Surpression						
			défaut matériaux						
			contrainte liée a l'activité						

			humaine					
			contrainte naturel					
	Mode :ouvert Laisser circuler le gaz	Fuite externe	Endommagement Usure avec le temps Défaut joint Défaut de construction Corrosion externe	Fuite de gaz naturel à l'extérieur =>1.Inflammation 2.Accident choc a haute pression Perte de temps en entretien				
			Corrosion Interne Surpression Défaut matériaux Contrainte naturel Contrainte liée a l'activité humaine		1	4	4	Maintenance régulière

Bride pleine E1 E2 E3 E4 E5 E6	Seller, stopper et bloquer les pipeline	fuite	Endommagement Usure avec le temps Défaut joint Défaut de construction Corrosion externe Corrosion Interne Surpression Défaut matériaux	Fuite de gaz naturel à l'extérieur =>1.Inflammation 2.Accident choc a haute pression Perte de temps en entretien	3	3	9	Maintenance régulière	/

			Contrainte naturel				
			Contrainte liée a l'activité humaine				
Rupture piquage ou petit brèche sur installation Pour instrument G	Mesurer la pression Mesurer la pression différentiel Mesurer le niveau		Usure avec le temps Défaut joint Défaut de construction Corrosion externe	Arrêt de la production Perte de temps en entretien Fuite de gaz naturel à l'extérieur =>1.Inflammation 2.Accident choc a haute pression			
Bride A1,A2 A3 A4 A5 A6 A7 A8 A9 A10 A11	Jointure des pipes	Fuite externe	Corrosion Interne Surpression Défaut matériaux Contrainte naturel Contrainte liée a l'activité		2	4	8 Maintenance régulière Brossage peinture Changement d'instrument

			humaine					
Vanne de sécurité H1	Fermer en cas de surpression ou autre problème dans le procédé Mode ouverte	Bloquée ouverte Ouverture partielle Refus de fermeture Fermeture intempestive Refus d'ouverture Fuite externe	Endommagement Défaut pneumatique Non détection des capteurs Défaillance du système de détection Défaut de commande Usure avec le temps Défaut joint Défaut de construction Corrosion externe Corrosion Interne	Arrêt de la production Perte de temps en entretien En cas d'arrêt d'urgence Surpression Fuite de gaz naturel à l'extérieur =>1.Inflammation 2.Accident choc a haute pression	4	4	16	

			<p>Surpression</p> <p>Défaut matériaux</p> <p>Contrainte naturel</p> <p>Contrainte liée a l'activité humaine</p>					
Filtre B1	<p>Filtrer le gaz naturel des impuretés solide et liquide</p> <p>Et le laisser circuler</p>	Fuite	<p>Endommagement</p> <p>Défaut de commande</p> <p>Usure avec le temps</p> <p>Défaut joint</p> <p>Défaut de construction</p> <p>Corrosion externe</p> <p>Corrosion Interne</p>	<p>Arrêt de la production</p> <p>Perte de temps en entretien</p>	1	3	3	<p>Maintenance régulière</p> <p>Brossage peinture</p>

			<p>Surpression</p> <p>Défaut matériaux</p> <p>Contrainte naturel</p> <p>Contrainte liée a l'activité humaine</p>						
<p>Soupape de sécurité II</p>	<p>Dépressuriser en cas de surpression dans le réseau</p>	<p>Bloquée fermé</p>	<p>Endommagement</p> <p>Usure avec le temps</p> <p>Défaut de construction</p> <p>Corrosion externe</p> <p>Corrosion Interne</p> <p>Surpression</p>	<p>Arrêt de la production</p> <p>Perte de temps en entretien</p>	<p>4</p>	<p>2</p>	<p>8</p>	<p>Maintenance régulière</p> <p>Changement de soupape</p> <p>Etalonnage (force du ressort)</p>	<p>/</p>

			Défaut matériaux					
			Contrainte naturel					
			Contrainte liée a l'activité humaine					

Interprétation des résultats

En conclu que cette méthode nous a permit d' identifier les modes de **défaillance** potentiels et de trouver les solutions pour traiter ces **défaillances** avant qu'elles ne surviennent, en vue de les éliminer ou d'en minimiser les **conséquences**.

2.3 Nœud de papillon d'événements indésirables principaux :

La figure ci-dessous présente un nœud papillon des événements indésirables.

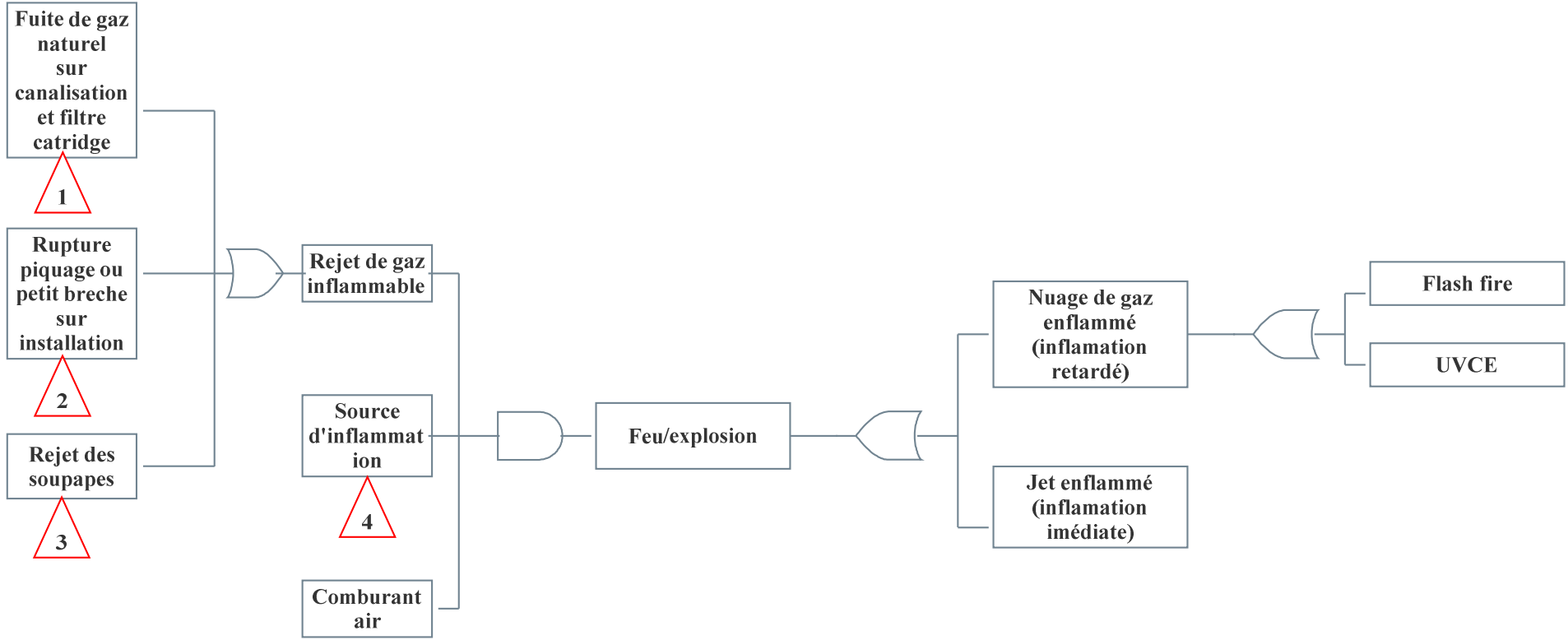


Figure IV-8 : présente un nœud papillon des événements indésirables

2.4. Arbre de défaillance << Fuite de gaz naturel sur canalisation et filtre >> :

L'analyse des risques de fuites au niveau des canalisations de transport de gaz est présentée dans l'arbre des causes qui suit:

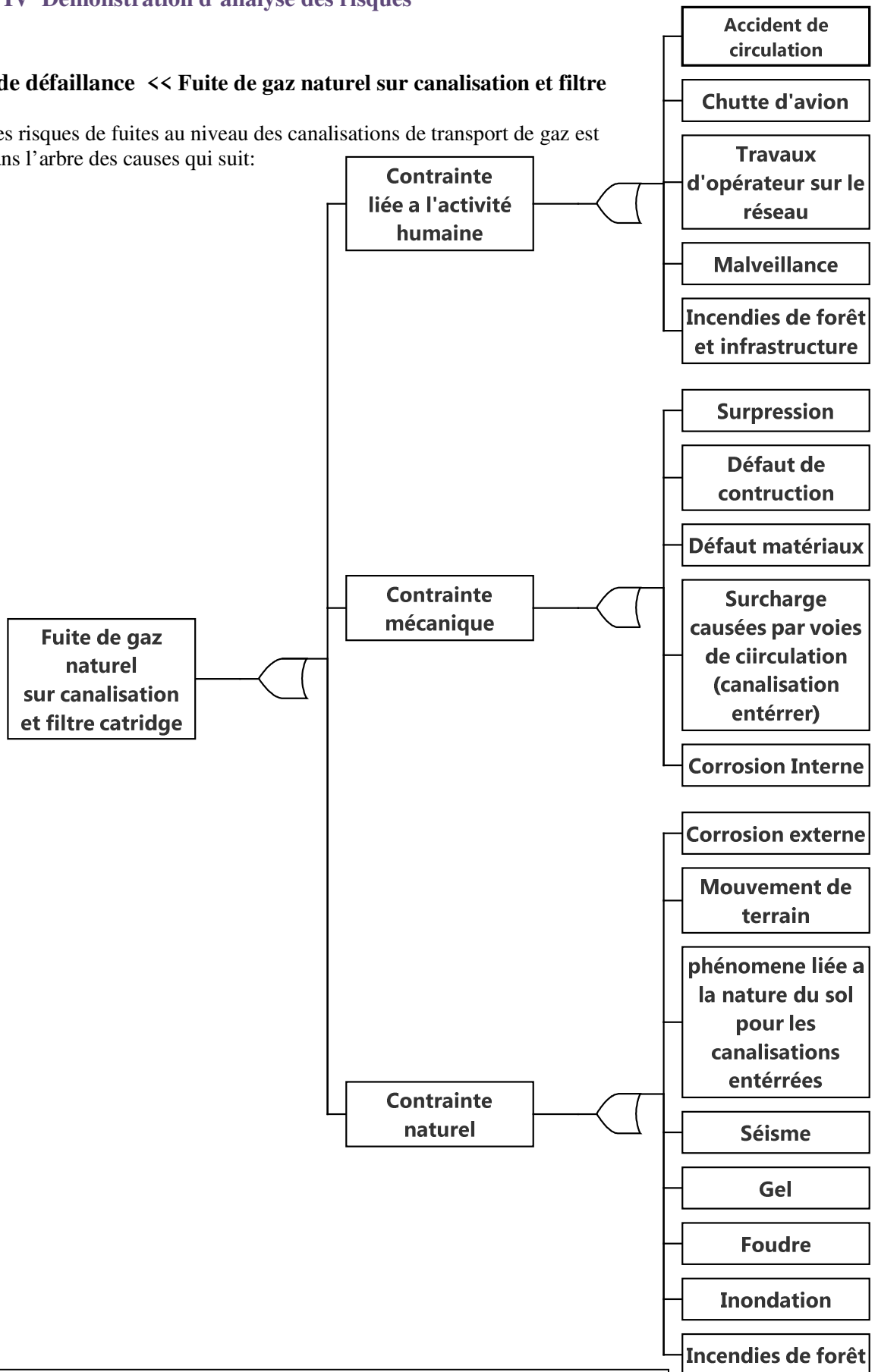


Figure IV-9 Arbre de défaillance << Fuite de gaz naturel sur canalisation et filtre >>

2.5 Arbre de défaillance <<Rupture de piquage ou petite brèche sur installation>> :

Compte tenu du caractère aérien des installations, le retour d'expérience est différent de celui des canalisations enterrées.

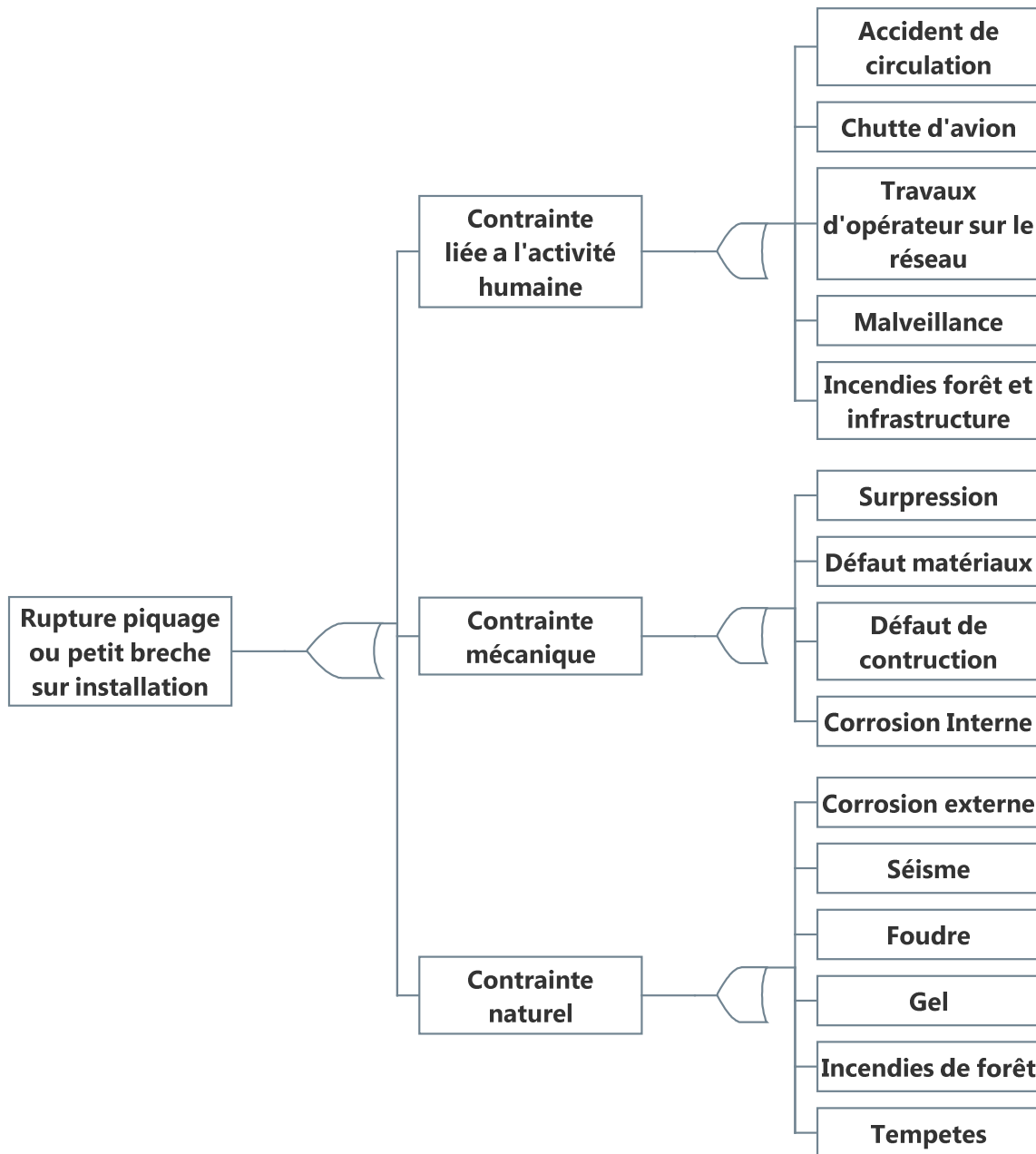


Figure IV-10 Arbre de défaillance <<Rupture de piquage ou petite brèche sur installation>>

2.6 Arbre de défaillance << Rejet a l'évent de soupape >> :

Des soupapes de sécurité sont placées en aval des organes de détente des postes de livraison afin de protéger le réseau aval. Un lâcher de soupape est donc intempestif. Le rejet est généralement canalisé vers un évent d'une hauteur et d'un diamètre étudié pour les nouvelles installations.

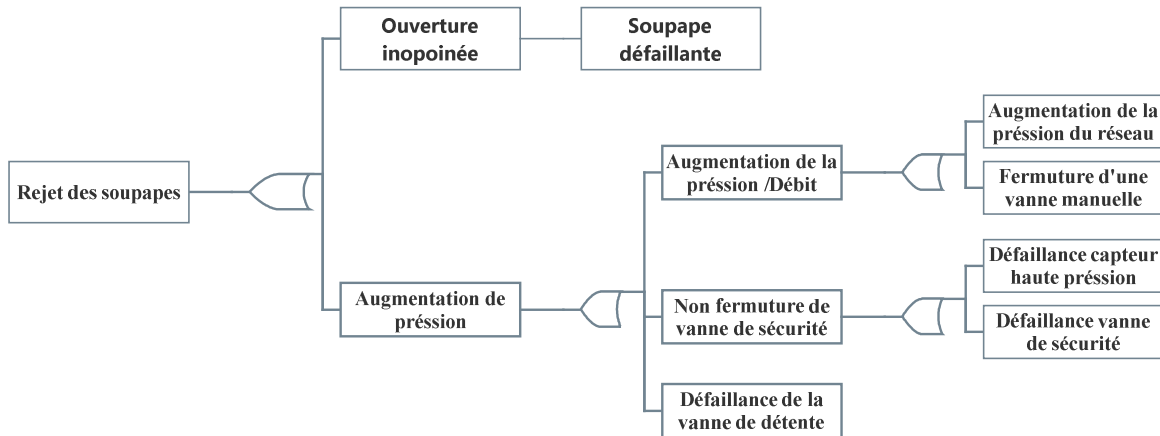


Figure IV-11 Arbre de défaillance << Rejet a l'évent de soupape >>

2.7 Arbre de défaillance <<Identification des sources d'inflammation potentielles >> :

Les sources pouvant conduire à l'inflammation du rejet de gaz sont listées ci-dessous.

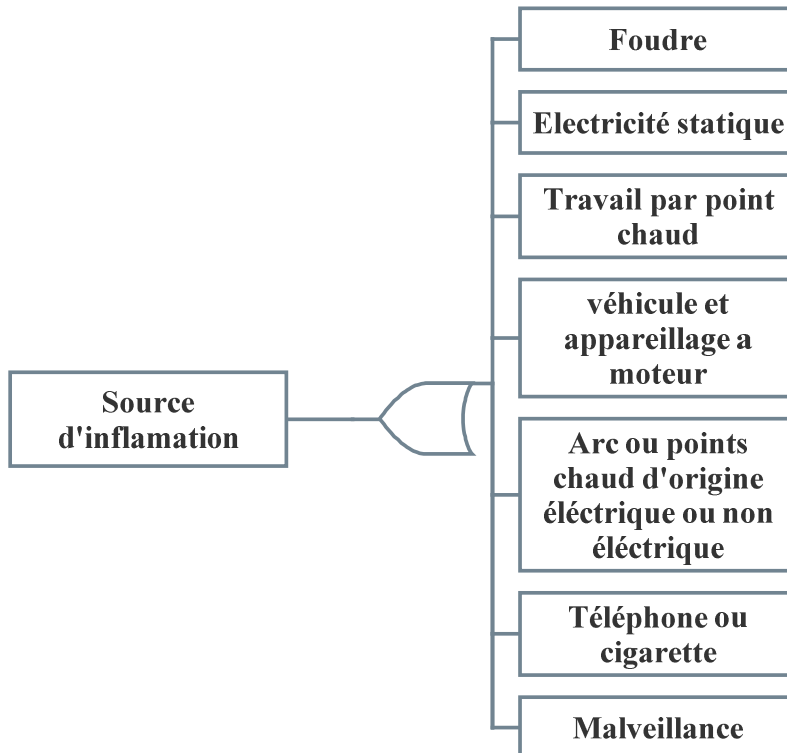


Figure IV-12 Arbre de défaillance <<Identification des sources d'inflammation potentielles >>

Interprétation des résultats

Les bilans d'analyses montrent que pour cibler les risques les plus menaçants, entreprendre la sécurité et réduire les risques on passe obligatoirement par la case agent causale et événements indésirables et dans notre exemple les pires scénarios sont engendrés par le risque qui permet la présence du gaz et le risque d'engendrer une source d'inflammation, à noter que l'interaction entre ces deux derniers est le danger à strictement éliminer (feu /explosion).

3. Présentation de l'entreprise n°2 complexe Sonatrach gl2 :

Introduction

Le complexe GL2/Z est l'un des plus grands axes de liquéfaction du gaz naturel et gaz associé transportés par les gazoducs du terminal de départ de HassiR'mel en vue l'expédition vers l'étranger. Il a pour mission traiter le gaz en éliminant les produits non-désirés qui peuvent poser des problèmes lors du transport puis liquéfier le gaz sec avec possibilité de récupération du propane, butane et de gazoline.



Figure IV-13 : Vue globale du site de GNL2/Z

3.1 Historique du complexe GL2/Z :

L'étude du projet, La construction et le démarrage des différentes unités du complexe GL2/Z ont été confié à la Société Américaine d'engineering PULLMAN KELLOG.

Signature du contrat : 09 Février 1976.

Lancement des travaux d'engineering : 15 Avril 1977.

Première production de GNL : 11 Février 1981.

Première expédition de GNL : 20 juillet 1981.

Rénovation du complexe : 1992 à 1996.

Certification du complexe iso 9001-2000 : 05 Novembre 2002.

3.2 Situation géographique du complexe GL2/Z :

Le complexe GL2/Z est situé à BETHIOUA 40 KM à l'ouest d'Oran (à 390 Km d'Alger) son emplacement au bord de la mer Méditerrané lui permet d'utiliser son eau comme source d'alimentation pour le refroidissement, la production d'eau dessalée et la lutte anti-incendie.

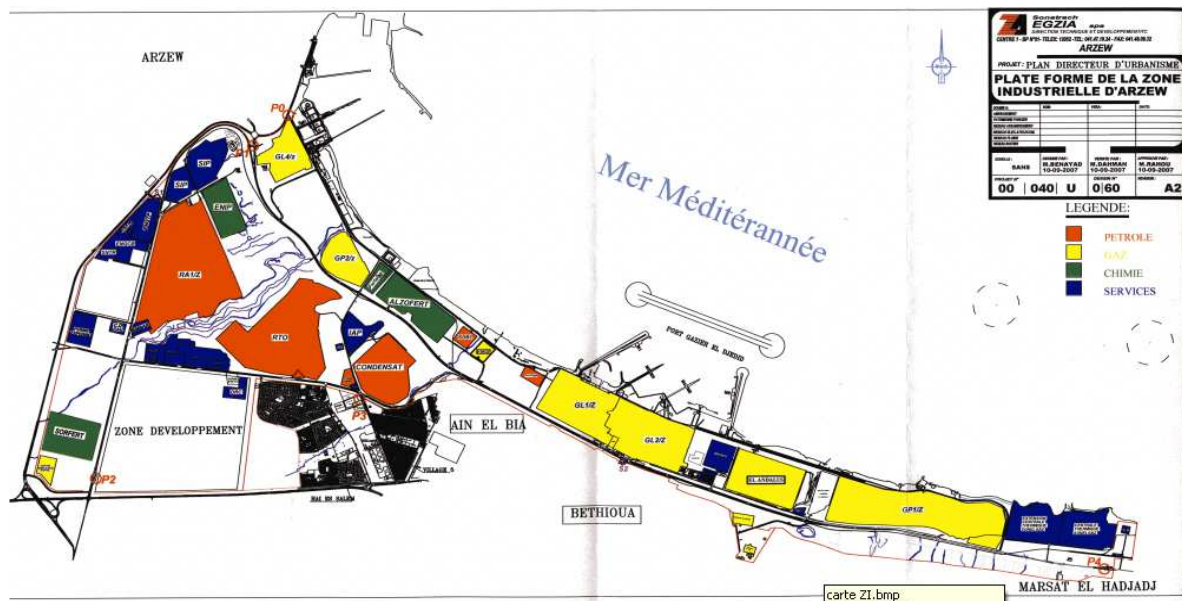


Figure IV-14 : Cartographie de la zone industrielle Arzew



Figure IV-15 : Situation géographique de complexe GNL2/Z

3.3 Description du complexe GL2/Z :

Une description plus approfondie du site dans l'annexe IV-2

4. Application de la méthode APR

4.1 Limitation champ d'études

Notre étude ce fait sur une chaudière IHI 400 tonnes de production montré sur la figure ci-dessous.



Figure IV-16: champ d'étude de la Chaudière IHI

Vérification procédures de travail et mesures de sécurité existants

Les mesures de sécurité sont constituées d'un ensemble de moyens techniques et opérationnels qui permettent de prévenir, de détecter, de maîtriser et d'atténuer des dangers pouvant se produire au niveau de la chaudière. L'approche à suivre est d'éliminer et d'atténuer ces dangers aussi tôt que possible dans la chaîne des événements, afin de réduire le potentiel de développement de l'incident en accident majeur.



Figure IV-17 :affiches consignes et mesures de sécurité

Un générateur de vapeur doit être muni d'importants dispositifs de sécurité et voici les plus importants:

➤ **Détecteurs et moyens d'intervention**

Les différents appareils existants sur site sont :

Détecteurs de gaz

Détecteurs d'incendie

Avertisseurs bris de glace

Alarmes sonores et visibles

Panneaux d'alarme

Skid à poudre sèche

Bouches d'incendie et tuyaux

Extincteurs portatifs

Système d'extinction au CO₂

➤ **Soupapes de sécurité**

La chaudière est équipée de plusieurs soupapes de sécurité, qui ont pour but de protéger les parties sous pression contre les surpressions de vapeur. Deux soupapes sont installées sur le ballon supérieur et une sur le collecteur de refoulement du surchauffeur.

Remarque : La Matrice des risques est la même citer au par avant dans notre 1^{er} exemple d'étude

4.2 Analyse avec la méthode APR

Tableau IV-3 Analyse avec la méthode APR

Maille	Événement causant situation dangereuse	Événement causant Accident potentiel	Accident potentiel	Accident			Mesures préventive	Accident			Recommandations
				P	G	C		P	G	C	
<p>Chaudières</p> <p>Production de vapeur</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Perte de confinement 	<ul style="list-style-type: none"> • Surpression dans la canalisation • Vétusté des installations. • Dégradation de calorifugeage • Percussion mécanique • Fuite au niveau du joint (vieillesse) 	<p>UCVE</p> <p>FLASH FIRE</p> <p>Feu detorche</p> <p>BLEVE</p>	4	3	12	<ul style="list-style-type: none"> • Protection (instrumentation, électrique) • Analyseur de la vapeur au niveau des chaudières (pH, conductivité) GT/FT • PSV (vanne de sécurité) • SKID poudre • Visite réglementaire 	3	2	6	<ul style="list-style-type: none"> • Formaliser l'analyse de risque au poste de travail pour définir les protections collectives et les EPI à utiliser. • Application rigoureuse du plan d'inspection de toutes les structures en

		<p>nt, mauvais serrage, défaillance qualité joint)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Collision entre un engin et une canalisation • Agressions externes (suite à des travaux) • Agressions externes (suite à des effets dominos) • Défauts d'étanchéité des accessoires (vanne, 				<ul style="list-style-type: none"> • Plan de maintenance • Plan d'inspection • Plan d'intervention 			<p>béton, les structures métalliques (pipe rack) et le piping avec ses accessoires.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le strict respect des procédures opératoires et des consignes de sécurité. • Programme des inspections strictes. • Protection des plates formes avec garde feu. • Normalisation du
--	--	--	--	--	--	---	--	--	---

		<p>soudure, bride...)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Corrosion externe (Atmosphère saline) • Erosion (turbulences au niveau des piquages, entrées Particules dans eau de mer). • Source d'ignition • Non-respect des procédures et consignes de sécurité 									<p>système de contrôle, inspection périodique et maintenance de tous les équipements.</p>
	Absence de flamme	<ul style="list-style-type: none"> • Surpression dans la 	UCVE	1	3	3	<ul style="list-style-type: none"> • Visite réglementaire 	1	1	1	

		<ul style="list-style-type: none"> canalisation • Vétusté des installations. • Arrêts non-programmés. • Fermeture d'une vanne en aval, • Présence d'impuretés et bouchage tuyauterie, • Expansion thermique du produit • Dégradation de calorifugeage , • Source d'ignition 	<p>FLASH FIRE</p> <p>Feu detorche</p> <p>BLEVE</p>			6	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de maintenance • Plan d'inspection Plan d'intervention 			
	Combustion	• Surpression	UCVE	2	3	6	• Analyseur de	1	2	

	incomplète	<p>dans la canalisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vétusté des installations. • Arrêts non-programmés. • Fermeture d'une vanne en aval, • Expansion thermique du produit • Dégradation de calorifugeage • Non-respect des procédures et consignes de sécurité 	<p>FLASH FIRE</p> <p>Feu detorche</p> <p>BLEVE</p>				la vapeur au niveau des chaudières (pH, conductivité) GT/FT			
	Risque chimique	<ul style="list-style-type: none"> • Vétusté des installations. 	Projection et	4	2	8	<ul style="list-style-type: none"> • Analyseur de la vapeur au 	2	2	4

		<ul style="list-style-type: none"> • Percussion mécanique • Fuite au niveau du joint (vieillesse, mauvais serrage, défaillance qualité joint) • Collision entre un engin et une canalisation • Agressions externes (suite à des travaux) • Agressions externes (suite à des effets 	<p>deversement</p> <p>Brulure ,intoxication</p>			<p>niveau des chaudières (pH, conductivité) GT/FT</p> <ul style="list-style-type: none"> • PSV (vanne de sécurité • Vanne évent • Visite réglementaire • Plan de maintenance • Plan d'inspection Plan d'intervention 			
--	--	---	---	--	--	--	--	--	--

		<ul style="list-style-type: none"> dominos) •Défauts d'étanchéité des accessoires (vanne, soudure, bride...) •Corrosion externe (Atmosphère saline) 								
	Perte d'utilités	<ul style="list-style-type: none"> •Vétusté des installations. •Fermeture d'une vanne en aval, •Percussion mécanique •Collision entre un 	<p>UCVE</p> <p>FLASH</p> <p>FIRE</p> <p>Feu detorche</p> <p>BLEVE</p>	4	2	8	<ul style="list-style-type: none"> •Protection (instrumentation, électrique) •Analyseur de la vapeur au niveau des chaudières (pH, conductivité) 	2	1	2

		<p>engin et une canalisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Agressions externes (suite à des travaux) • Agressions externes (suite à des effets dominos) • Défauts d'étanchéité des accessoires (vanne, soudure, bride...) • Corrosion externe (Atmosphère saline) 					<p>GT/FT</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para foudre • Visite réglementaire • Plan de maintenance • Plan d'inspection Plan d'intervention 				
--	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--	--

		<ul style="list-style-type: none"> • décharge électrostatique • Non-respect des procédures et consignes de sécurité • Foudre. • Défaut électrique (court-circuit). 								
	Défaillance alimentation	<ul style="list-style-type: none"> • Vétusté des installations. • Arrêts non-programmés. • Fermeture d'une vanne en aval, • Présence d'impuretés et bouchage tuyauterie, • Fuite au 		2	2	4	<ul style="list-style-type: none"> • Analyseur de la vapeur au niveau des chaudières (pH, conductivité) • Visite réglementaire • Plan de maintenance • Plan d'inspection 	2	1	2

		<p>niveau du joint (vieillesse, mauvais serrage, défaillance qualité joint)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Corrosion externe (Atmosphère saline) • Erosion (turbulences au niveau des piquages, entrées Particules dans eau de mer). 					Plan d'intervention			
	Surchauffe	<ul style="list-style-type: none"> • Surpression dans la canalisation 	UCVE FLASH	4	2	8	<ul style="list-style-type: none"> • PSV (vanne de sécurité) • Vanne évent 	2	2	4

		<ul style="list-style-type: none"> • Vétusté des installations. • Hausse de température ; • Expansion thermique du produit • Dégradation de calorifugeage • Source d'une ignition • Présence de point chaud 	<p>FIRE</p> <p>Feu detorche</p> <p>BLEVE</p>				<ul style="list-style-type: none"> • Visite réglementaire • Plan de maintenance • Plan d'inspection Plan d'intervention 			
	<p>Perte d'étanchéité interne ligne fuel gaz</p> <p>Perte</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Surpression dans la canalisation • Vétusté des installations. • Percussion mécanique 	<p>UCVE</p> <p>FLASH</p> <p>FIRE</p> <p>Feu detorche</p>	4	4	16	<ul style="list-style-type: none"> • PSV (vanne de sécurité) • SKID poudre • Visite réglementaire • Plan de maintenance 	3	2	6

	<p>d'étanchéité externe</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fuite au niveau du joint (vieillissement, mauvais serrage, défaillance qualité joint) • Collision entre un engin et une canalisation • Agressions externes (suite à des travaux) • Agressions externes (suite à des effets dominos) • Défauts 	<p>BLEVE</p>				<ul style="list-style-type: none"> • Plan d'inspection • Plan d'intervention 				
--	-----------------------------	---	--------------	--	--	--	--	--	--	--	--

		<p>d'étanchéité des accessoires (vanne, soudure, bride...) • Corrosion externe (Atmosphère saline)</p>								
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Interprétation des résultats de la méthode APR

Les bilans d'analyse montrent que les risques dépendent des paramètres opératoires, Ces derniers peuvent provoquer des dégâts matériels et humains graves, pour cela nous allons faire appel à la méthode HAZOP pour analyser et évaluer les risques liés aux paramètres opératoires pendant l'exploitation de la chaudière IHI

5. Application de LA méthode HAZOP

5.1 Etapes de la Méthode d'analyse HAZOP

L'utilisation de la méthode HAZOP (HAZard and Opérabilité study), permet l'identification des causes et des conséquences possibles des dérives des paramètres de fonctionnement de la chaudière IHI, et la réaction de différentes barrières de sécurité pour la maîtrise des risques liée à l'exploitation.

5.2 Limitation champ d'études

La méthode HAZOP a été appliquée sur même chaudière IHI.

5.3 Bilan d'analyse de la méthode HAZOP

Tableau IV-4 Analyse avec la méthode HAZOP

Paramètre	Mot clé	Déviatio n	Causes	Conséquences	Barrières de Sécurités existantes	Propositions d'amélioratio n	F	G	C	Commentaires
chaudière										
Débit	Plus de	Plus de gaz	Défaut régulation	Génération d'imbrulés, explosion	PSH gaz alimentation Mesure O ₂ dans les fumées Système BMS	-Programme d'étalonnage périodique des transmetteurs de débit avec mise à jour -Flotteur (transmetteur de niveau)	2	4	8	-Risque de dégradation mécanique -consommation élevée d'eau
		Plus de air	Défaut régulation	Extinction flamme + vibrations chaudières	Rondes opérateur Mesure O ₂ dans les fumées Système BMS					
		Plus de eau	Défaut régulation	Entrainement d'eau dans le réseau vapeur	Système BMS					
	Moins de	Moins de gaz	Défaut régulation	Baisse de régime chaudière Déclanchement de la chaudière	PSL alimentation gaz. Système BMS.	-Programme d'étalonnage périodique des transmetteurs de débit avec mise à jour	2	3	6	-Risque de dégradation mécanique -Risque de fuite de garniture
		Moins d'air	Défaut régulation Blocage ventelles	Génération d'imbrulés, explosion	Système BMS					

		Moins d'eau	Défaut régulation	Risque de surchauffe Eclatement tubes (phénomène asséchement)	Système BMS					
		Pas de gaz	Sans conséquence	Sans conséquence						
		Risque retour flamme	Défaillance de régulation chambre de combustion/boite à vent	Retour de flamme vers circuit gaz, explosion	Delta P PDIC Conception de la buse de bruleur et couronne					
Pression	Moins de	Diminution de la pression	Idem moins de débit	• Baisse de régime chaudière Déclanchement de la chaudière	FSLL (air) Système BMS PSL (gaz)	-Maintenance préventive -Inspections périodiques	1	1	1	- Mauvais dégazage -Perte d'énergie pour la chaudière
	Plus de	Augmentation de pression	Idem plus de débit	Génération d'imbrulés, explosion	PSH Système BMS	Maintenance préventive -Inspections périodiques exp	2	4	8	- Mauvais dégazage -Perte d'énergie pour la chaudière
	Dépression		Hausse pression ou débit gaz	Incidence sur le corps de la chaudière	PSH ballon supérieur PSVs	synchronisation des vannes				

paramètre	Mot	déviaton	causes	conséquences	Sécurités existantes	Propositions	F	G	C	commentaires
-----------	-----	----------	--------	--------------	----------------------	--------------	---	---	---	--------------

e	clé					d'amélioration			
Température (gaz/air)	Haute	Augmentation de la température	Défaut de régulation	Baisse de régime chaudière. Expansion de gaz.	• Système DCS		3	2	6
	Basse		Défaut de régulation	Sans conséquence	• Réchauffeur. • Système DCS				
Température (vapeur)	Haut	Encrassement interne des faisceaux vapeur	• Défaut de régulation ou haute débit gaz	• Explosion	• TSHH • PSVs		1	2	2
	Bas		• Défaut de régulation	• Coups de bélier + fissuration piping et fuite. • Choc thermique	• TSL • Système DCS				
Niveau	Haut	Manque d'eau	• idem plus de débit eau				3	2	6
	Bas		• Idem température haute	• Assèchement des tubes Phénomène de fluage (éclatement)	• LSSL Système DCS				

Compositi on	Conta minati on gaz	Corrosion interne	<ul style="list-style-type: none"> •Contami nation par azote en excès dans le fuel gaz 	<ul style="list-style-type: none"> •Rejet NOx en excès •Mauvais rendement chaudière •Extinction flamme 	<ul style="list-style-type: none"> •Contrôle en continu du PCS fuel gaz •Analyseur BTU •Système BMS 		1	2	2
	Conta minati on air		<ul style="list-style-type: none"> •Présence de gaz dans l'envirom nement chaudièr e 	<ul style="list-style-type: none"> •Génération d'imbrulés, explosion 	<ul style="list-style-type: none"> •Détecteur de gaz ponctuel au niveau des aspirations air de combustion chaudières •Déclanchement arrêt chaudière+ détecteur à barrière déclenche l'arrêt chaudières + rondes opérateurs •Rideaux d'eau 		1	2	2
	Conta minati on eau	Agression externe	<ul style="list-style-type: none"> •Présence de gaz combusti ble 	<ul style="list-style-type: none"> •Explosion corps de pompe alimentaire 	<ul style="list-style-type: none"> •Analyseur en ligne •Système DCS 		1	2	2
			<ul style="list-style-type: none"> •Présence O₂ dissous 	<ul style="list-style-type: none"> •Rupture faisceau vapeur 	<ul style="list-style-type: none"> •Analyseur O₂ dissout en ligne sortie dégazeur •Analyse laboratoire 		1	2	2
<ul style="list-style-type: none"> •Mauvais dosage produits chimique s 			<ul style="list-style-type: none"> •Rupture faisceau vapeur par corrosion 	<ul style="list-style-type: none"> •Analyses quotidiennes par laboratoire +mesure en continu du Ph et conductivité des chaudières 		1	2	2	
<ul style="list-style-type: none"> •Présence de chlorures 			<ul style="list-style-type: none"> Rupture faisceau vapeur par corrosion 	<ul style="list-style-type: none"> •Mesure de conductivité 		1	2	2	
Débit	Plus de	gaz	<ul style="list-style-type: none"> •Défaut régulatio n 	<ul style="list-style-type: none"> •Génération d'imbrulés, explosion 	<ul style="list-style-type: none"> •Mesure O2 dans les fumées 		1	2	2

		air	<ul style="list-style-type: none"> • Défaut régulation 	<ul style="list-style-type: none"> • Extinction flamme + vibrations chaudières 	<ul style="list-style-type: none"> • Rondes opérateur • Mesure O2 dans les fumées 					
		eau	<ul style="list-style-type: none"> • Défaut régulation 	<ul style="list-style-type: none"> • Entraînement d'eau dans le réseau vapeur 						
	Moins de		gaz	<ul style="list-style-type: none"> • Défaut régulation 	<ul style="list-style-type: none"> • Baisse de régime chaudière • Déclanchement de la chaudière. 			1	2	2
			air	<ul style="list-style-type: none"> • Défaut régulation • Blocage ventelles 	<ul style="list-style-type: none"> • Génération d'imbrulés, explosion 	FSSL				
			eau	<ul style="list-style-type: none"> • Défaut régulation 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de surchauffe • Eclatement tubes (phénomène assèchement) 					
	Pas de gaz		<ul style="list-style-type: none"> • Sans conséquence 	<ul style="list-style-type: none"> • Sans conséquence 						
	Risque retour flamme		<ul style="list-style-type: none"> • Défaillance de régulation chambre de 	<ul style="list-style-type: none"> • Retour de flamme vers circuit gaz, explosion 	<ul style="list-style-type: none"> • Delta P PDIC 	<ul style="list-style-type: none"> Conception de la buse de bruleur et couronne 				

			combustion/boite à vent							
Pression	Plus de		• Idem plus de débit	Génération d'imbrulés, explosion	• PSH • Système BMS		2	3	6	
	Moins de		Idem moins de débit	• Baisse de régime chaudière Déclanchement de la chaudière.	• FSLL (air) • Système BMS • PSL (gaz)					
	Dépression		• Hausse pression ou débit gaz	Incidence sur le corps de la chaudière	• PSH ballon supérieur PSVs		3	3	9	
Température (gaz/air)	Haute		• Défaut de régulation	• Baisse de régime chaudière. • Expansion de gaz.	• Système DCS		2	3	6	
	Basse		Défaut de régulation	Sans conséquence.	• Réchauffeur. Système DCS		2	1	2	
Température (vapeur)	Haute		• Défaut de régulation ou haute débit gaz	• Explosion	• TSHH • PSVs		2	4	8	

	Basse		Défaut de régulation	<ul style="list-style-type: none"> • Coups de bélier + fissuration piping et fuite. • Choc thermique 	<ul style="list-style-type: none"> • TSL • Système DCS 		3	3	9
Niveau	Haut		<ul style="list-style-type: none"> • idem plus de débit eau 				2	1	2
	Bas		Idem température haute	<ul style="list-style-type: none"> • Assèchement des tubes • Phénomène de fluage (éclatement) 	<ul style="list-style-type: none"> • LSSL • Système DCS 		2	1	2
Composition	Contamination gaz		<ul style="list-style-type: none"> • Contamination par azote en excès dans le fuel gaz 	<ul style="list-style-type: none"> • Rejet NOx en excès • Mauvais rendement chaudière • Extinction flamme 	<ul style="list-style-type: none"> • contrôle en continu du PCS fuel gaz 		2	3	6
	Contamination air		<ul style="list-style-type: none"> • Présence de gaz dans l'environnement chaudière 	<ul style="list-style-type: none"> • Génération d'imbrulés, explosion 	<ul style="list-style-type: none"> • Détecteur de gaz ponctuel au niveau des aspirations air de combustion chaudières déclenchent l'arrêt chaudière + détecteur à barrière déclenche 'arrêt chaudières + • rondes opérateurs 		2	3	6
				Présence de gaz combustible	<ul style="list-style-type: none"> • Explosion corps de pompe alimentaire 			2	3

			<ul style="list-style-type: none"> • Présence O₂ dissous 	<ul style="list-style-type: none"> • Rupture faisceau 	<ul style="list-style-type: none"> • analyseur O₂ dissout en ligne sortie 		1	2	2	
				<ul style="list-style-type: none"> • vapeur 	<ul style="list-style-type: none"> • dégazeur 		2	3	6	
			<ul style="list-style-type: none"> • Mauvais dosage produits chimiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Rupture faisceau vapeur par corrosion 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyses quotidiennes par laboratoire + mesure • en continu du Ph au niveau des chaudières 		2	2	4	
			<ul style="list-style-type: none"> • Présence de chlorures 	<ul style="list-style-type: none"> • Rupture faisceau vapeur par corrosion 	<ul style="list-style-type: none"> • conductivimètres (en continu) au niveau des trains 		2	2	4	

Interprétation des résultats de la méthode HAZOP

Suite à l'analyse par la méthode HAZOP pour les risques liée à l'exploitation de la chaudière IHI on constate que parmi les risques majeurs de cette chaudière c'est l'explosion qui engendre de grave dégâts matériels et humains.

Conclusion n°1 :

Les méthodes d'identification des dangers actuelles ne s'appliquent pas nécessairement à tous les stades du cycle de vie d'un processus, d'un système ou d'une infrastructure. Les outils et techniques d'identification des dangers reposent sur une approche descendante où la défaillance ou l'événement doit être connue et qui est la cause de la défaillance identifiée. Les outils d'identification des dangers et des risques existants ont une approche linéaire et ne prennent pas en compte les événements ou l'interconnectivité simultanés. Il est nécessaire de comprendre la corrélation entre les dangers et les risques. Cela souligne la nécessité d'une méthodologie permettant d'identifier les risques interdisciplinaires d'une approche prospective multidimensionnelle la ou on peut toujours faire appelle au logiciel de gestion pour apporter plus de précision lors de la collecte de donnés.

6. Analyse des risques du processus par logiciel Phast :

Introduction :

Avec le logiciel d'analyse des risques Phast , on va examiner l'évolution d'incident potentiel depuis la libération initiale jusqu'à l'analyse de dispersion, y compris la modélisation de l'épandage et de l'évaporation, ainsi que des effets inflammables.

Le scénario choisi est le suivant **Perte de confinement dans la ligne de fuel gaz près de la chaudière** .

Remarque : Phast est un des logiciels d'analyse de risque de procédé le plus complet dans le monde industriel.

6.1 Les données de références :

Afin de lancer la simulation avec Phast nous avons rempli les données d'entrée (input) nécessaire tel que la climatologie, les conditions atmosphériques...etc. en s'appuyant sur des références précis voir annexe 3-V

6.2 Paramètres généraux de modélisation

Le gaz est un méthane avec une masse de 56.81kg a circulant a une température de 38 c° et une pression 2.3 bar

On s'est basé sur les catégories de vent suivant le tableau ci-dessus :

Tableau IV-5: Conditions atmosphériques pour simulation

Conditions	Vitesse du vent(m/s)	Stabilité de l'air
JourEté	6	C
JourHiver	4	B
NuitEté	3	D
NuitHiver	2	F

La hauteur de calcul des effets a été définie à 10 mètre.

Celle-ci définit la hauteur de calcul pour les contours de LII des nuages inflammables et laplupart des effets de radiation.

La direction des fuites a été définie comme horizontale.

La direction détermine la direction initiale de la plume mais également la fraction de lavitesse initiale de la fuite à utiliser.

La fraction de la LII est la concentration déterminant la distance maximale à laquelle unnuage inflammable peut être enflammé. Les valeurs typiques sont 100 et 50%, 50% donnantdes résultats plus conservateurs et permettant de prendre en compte les effets de mélangeimparfait (ceux-ci peuvent mener à des concentrations locales plus élevées que celles prédites par le modèle de dispersion).

Cette valeur est utilisée pour déterminer le point d'ignition d'une explosion retardée et lazone couverte par un feu flash. Si la distance d'intérêt ou la concentration d'intérêt n'ont pasété définies, la fraction de la LII sert également à définir le point d'arrêt de calcul dedispersion pour les inflammables.

Notons que ce paramètre n'est pas utilisé pour le calcul de la masse inflammable dans l'usage mais seulement l'étendue d'un feu flash et la zone d'ignition possible. Le calcul de la masse inflammable utilise 100% de la LII comme valeur inférieure limite pour la masse inflammable. La fraction LII utilisée sera 100%.

6.3 SCENARIO: Perte de confinement dans la ligne de fuel gaz près de la chaudière

6.3.1 Equipements étudiés dans le scénario

L'usine GL2Z comporte une multitude de chaudières. Afin de les représenter, la chaudière IHI sera étudiée plus en détails. Avec comme scénario perte de confinement sur la ligne d'alimentation de la chaudière en fuel gaz.

6.3.2 Résultat de la simulation:

Les différents événements redoutés possibles sont les suivants :

- A. Rupture catastrophique
- B. Fuite 50mm
- C. Fuite 200mm

6.3.3 Description des événements redoutés

L'événement redouté est une rupture complète et fuites de la ligne de fuel gaz. Le scénario étudié est donc la perte de confinement d'une quantité importante de fuel gaz (CH₄) liquides. Les phénomènes dangereux redoutés sont une explosion (UVCE), un feu flash, un feu chalumeau (jet fire) et boule de feu.

6.3.4 Distances d'effets

Les effets pour les différentes conséquences sont repris sur les schémas ci-dessous. Pour chaque conséquence, seules les conditions météo donnant les zones d'effet les plus vastes sont représentées. Les plans comprennent en général deux types de courbes, la « plume » qui représente la portée de l'événement en considérant la direction de vent la plus fréquente et l'« effet » qui représente la zone couverte en considérant les vents dans toutes les directions.

6.3.5 Analyse des conséquences :

A. Rupture catastrophique

A.1. Dispersion

Le graphique présente la concentration du fuel gaz CH₄ en (ppm) en fonction de la distance en (m) de dispersion lors d'une rupture catastrophique dans quatre conditions météorologiques (jour d'été 6/C, nuits d'été 3/D, jour d'hiver 4/B, nuit d'hiver 2/F).

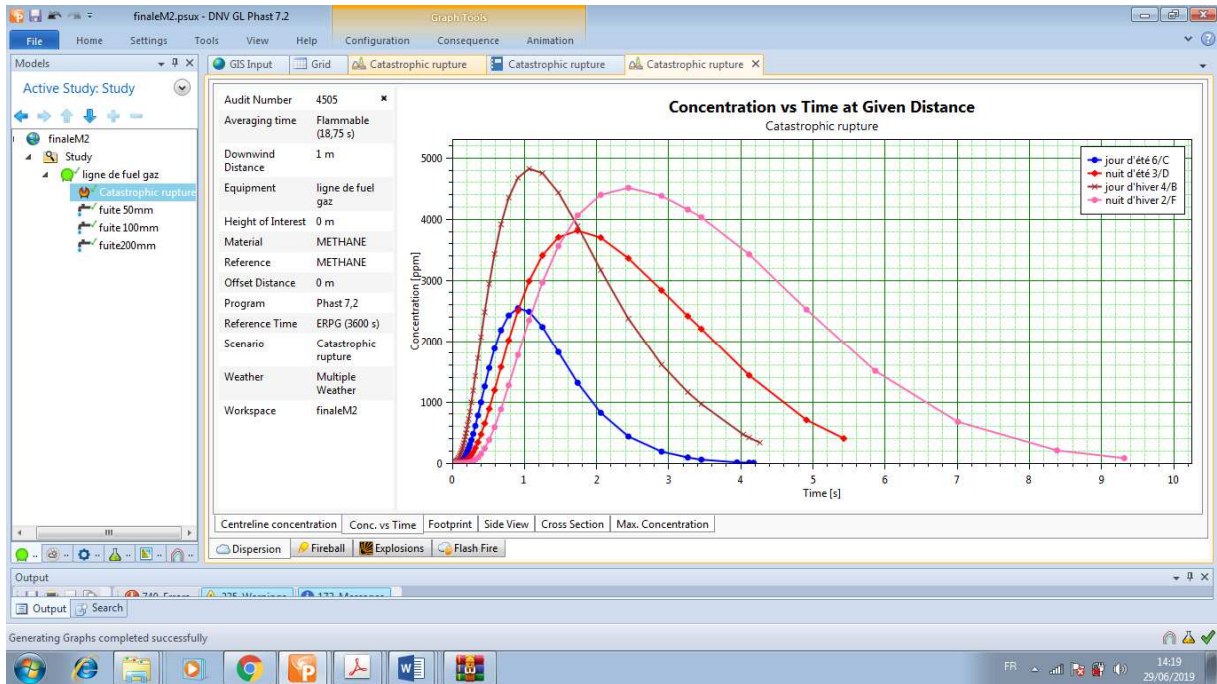


Figure IV-18 Concentration vs Time at Given Distance

Le graphique présente la concentration du fuel gaz CH₄ en (ppm) en fonction du temps (s) a une distance donné de 1 m de dispersion lors d'une rupture catastrophique dans quatre conditions météorologique (jour d'été 6/C, nuits d'été 3/D, jour d'hiver 4/B, nuit d'hiver 2/F).

A.2. Boule de feu (fireball) :

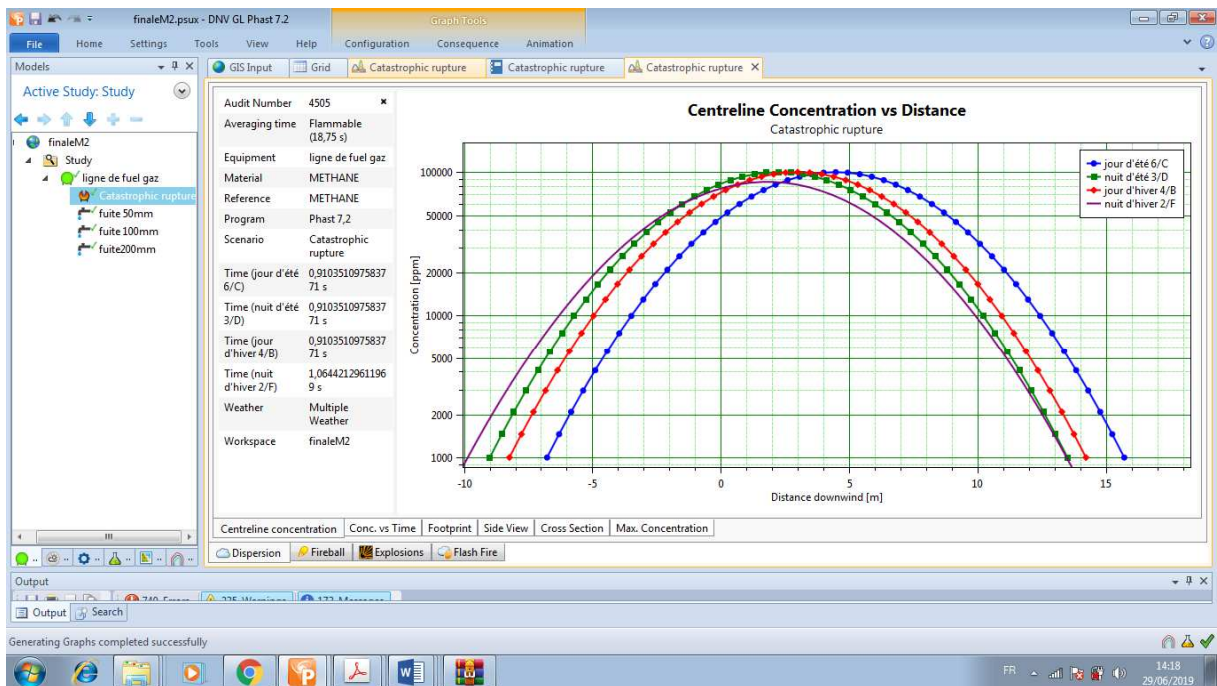


Figure IV-19 Centreline Concentration vs Distance

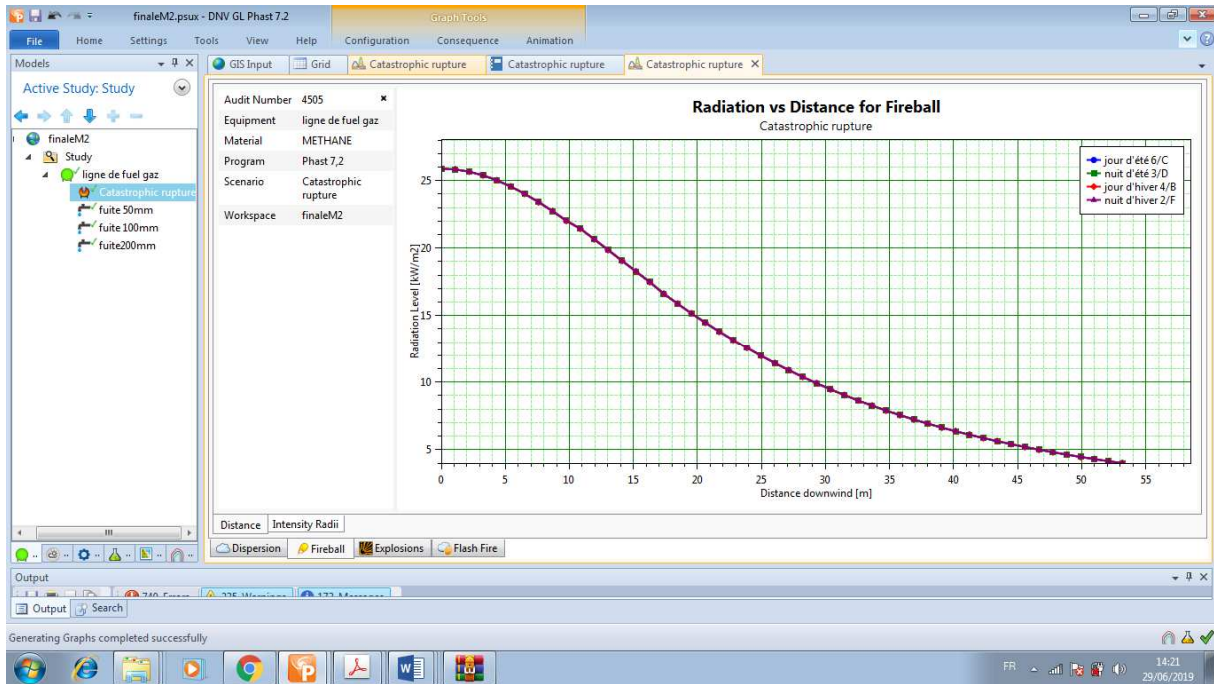


Figure IV-20 Radiation vs Distance for Fireball

Le graphique présente le niveau de radiation en (KW/m²) en fonction de la distance en (m) sous le vent du phénomène boule de feu lors d'une rupture catastrophique dans quatre conditions météorologique (jour d'été6/C, nuits d'été 3/D, jour d'hiver 4/B, nuit d'hiver 2/F).

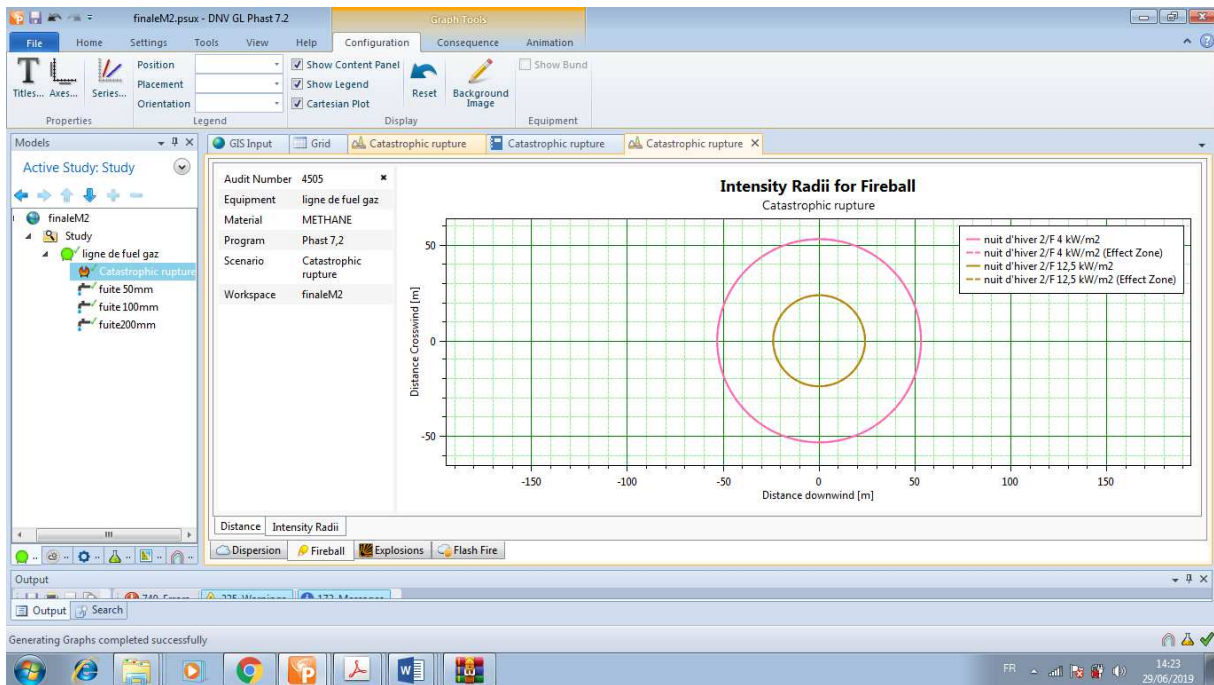


Figure IV-21 Intensity Radii for Fireball

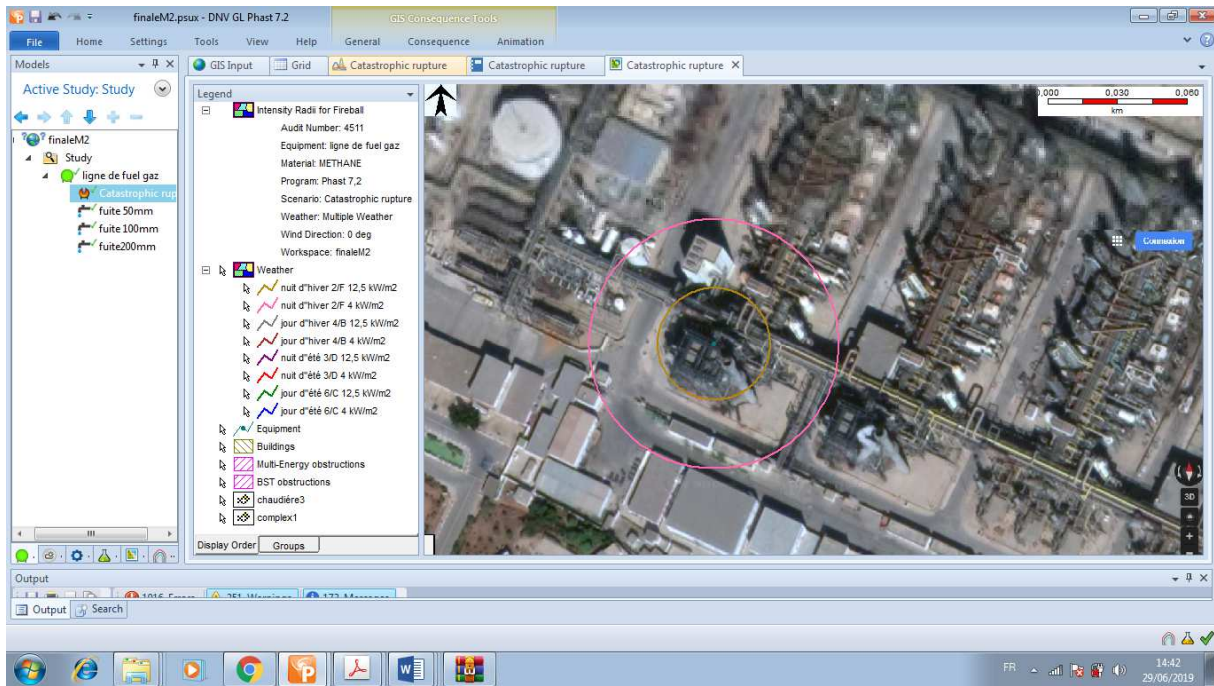


Figure IV-22 Intensity Radii for Fireball satellite view

Les graphiques présentent la surface de la zone atteinte par le phénomène de boule de feu suivant l'intensité de radiation lors d'une rupture catastrophique dans différentes conditions météorologique (cité dans la légende du graphique).

A.3 Explosion:

A.3.1 Explosion immediate (Early explosion):

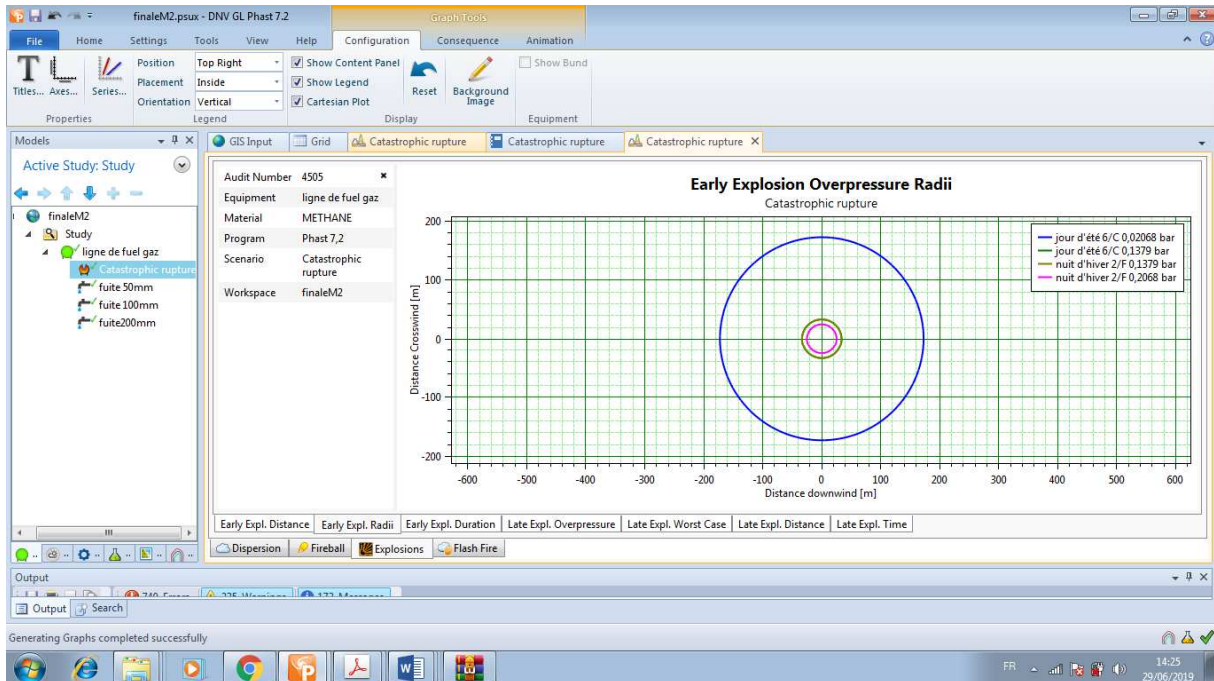


Figure IV-23 Early Explosion Overpressure Radii

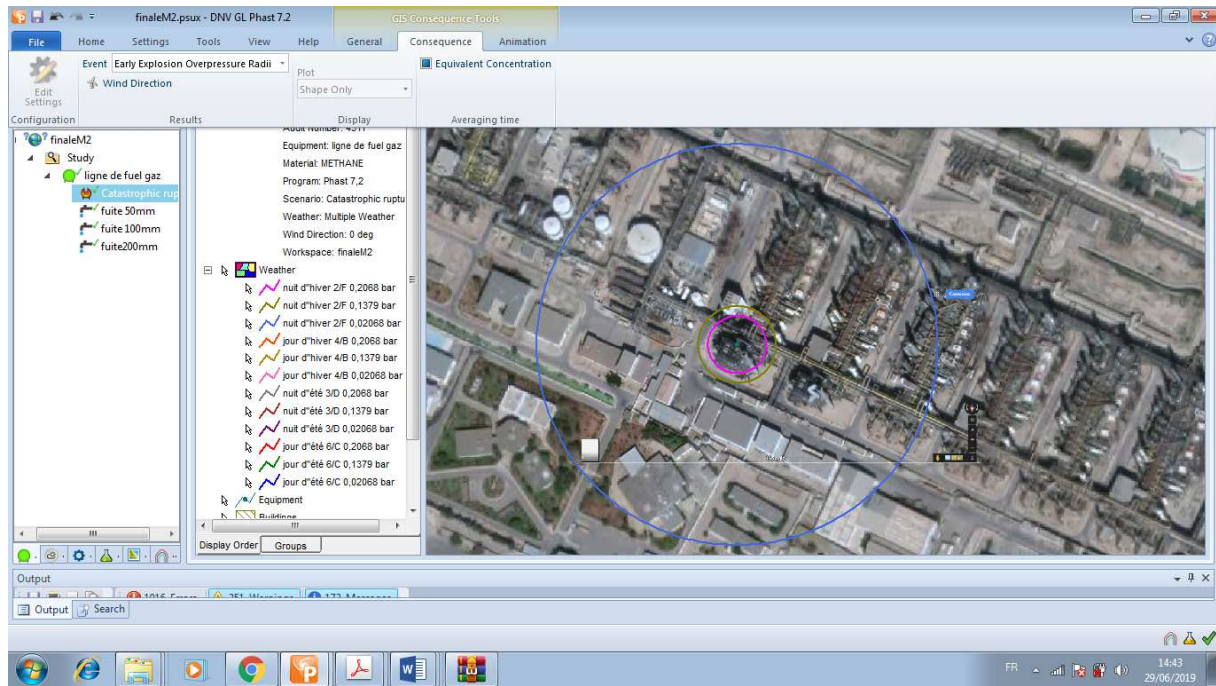


Figure IV-24 Early Explosion Overpressure Radii Satellite view

Les graphiques présentent la surface de la zone atteinte par l'explosion immédiate suivant différentes pression du fuel gaz lors d'une rupture catastrophique dans différentes conditions météorologiques (cité dans la légende du graphique).

A.3.2 Explosion tardive (Late explosion) :

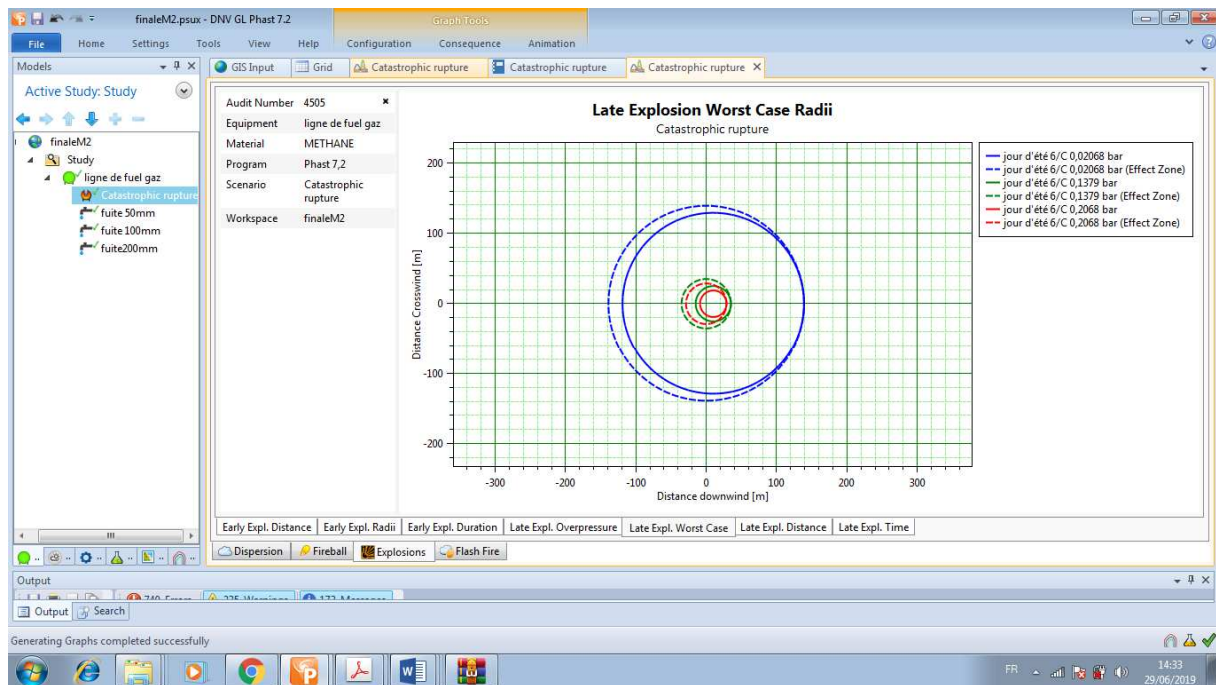


Figure IV-25 Late Explosion Worst Case Radii

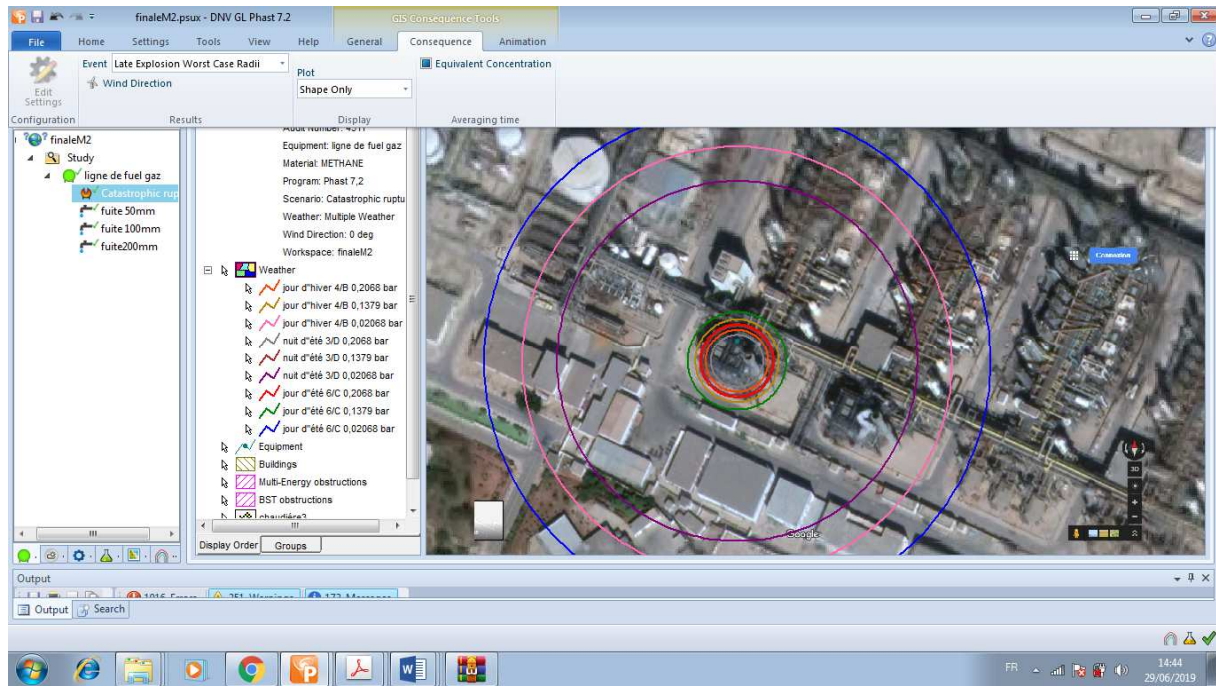


Figure IV-26 Late Explosion Worst Case Radii Satellite view

Les graphiques présentent la surface de la zone atteinte par l'explosion tardive suivant différentes pressions du fuel gaz lors d'une rupture catastrophique dans différentes conditions météorologiques (cité dans la légende du graphique).

Remarque : Dans les conditions 6/C enregistre la situation la plus critique.

A.4. Feu instantané (Flash fire) :

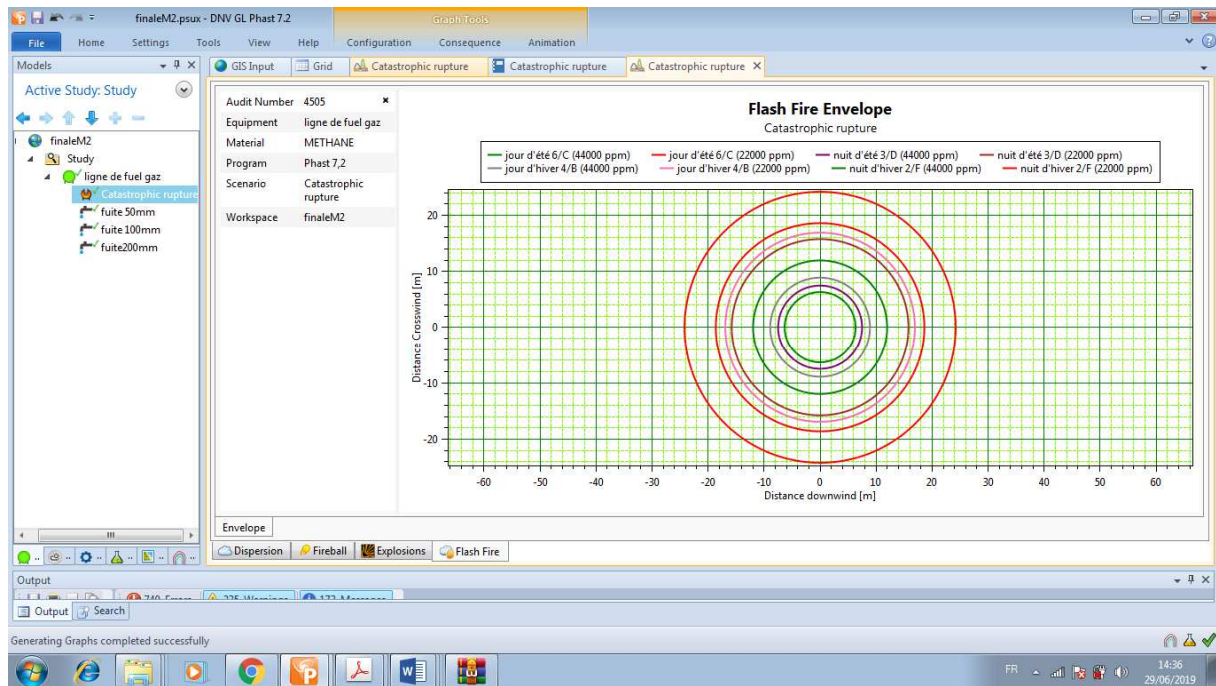


Figure IV-27 Flash Fire Envelope

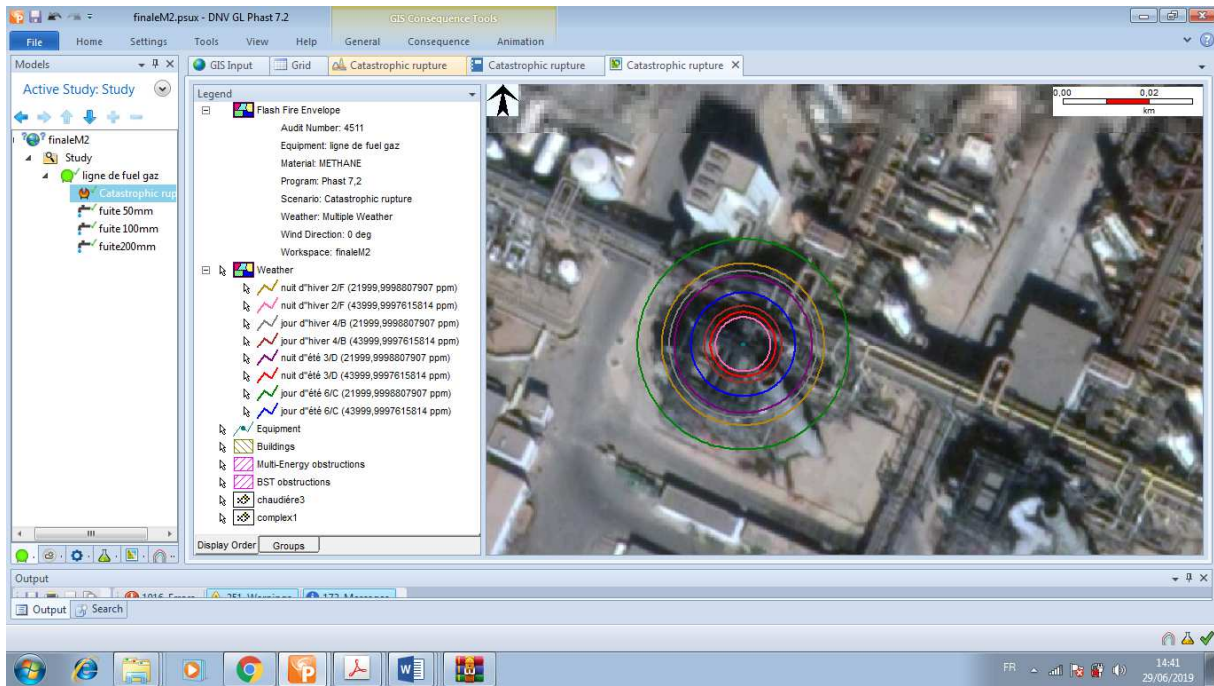


Figure IV-28 Flash Fire Envelope Satellite view

Les graphiques présentent la surface de la zone atteinte par le feu instantané lors d'une rupture catastrophique dans différentes conditions météorologiques et différentes concentrations en (ppm) (cité dans la légende du graphique).

B. Fuite 50mm :

B.1.dispersion :

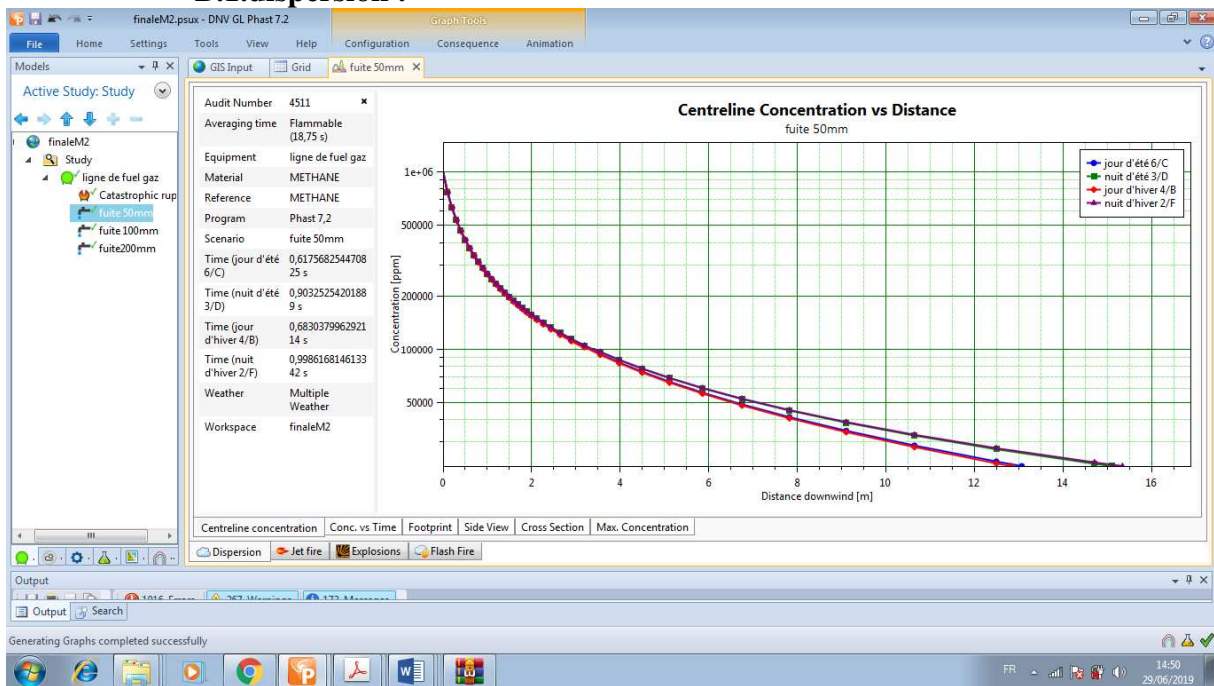


Figure IV-29 Centreline Concentration vs Distance

Le graphique présente la concentration du fuel gaz CH4 en (ppm) en fonction de la distance en (m) de dispersion lors d'une fuite de 50mm dans quatre conditions météorologique (jour d'été 6/C, nuits d'été 3/D, jour d'hiver 4/B, nuit d'hiver 2/F).

B.2 Feu de chalumeau (jet fire) :

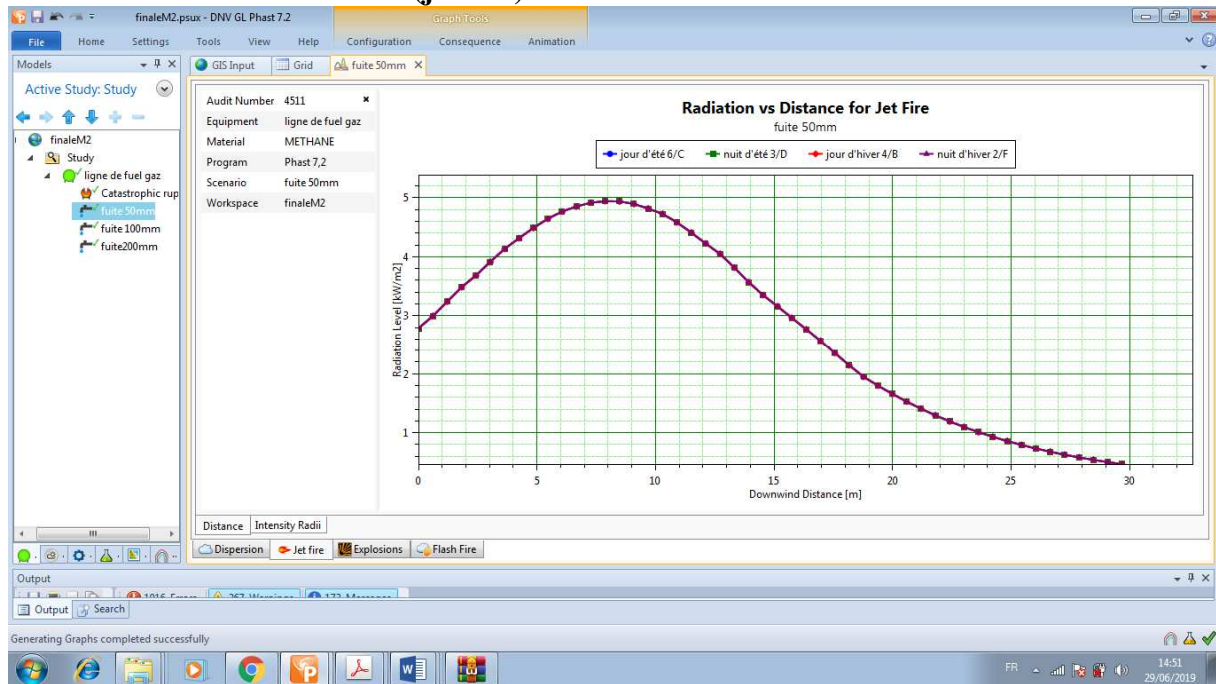


Figure IV-30 Radiation vs Distance for Jet Fire

Le graphique présente le niveau de radiation en (KW/m²) en fonction de la distance en (m) sous le vent du phénomène feu de chalumeau lors d'une fuite de 50mm dans quatre conditions météorologique (jour d'été 6/C, nuits d'été 3/D, jour d'hiver 4/B, nuit d'hiver 2/F).

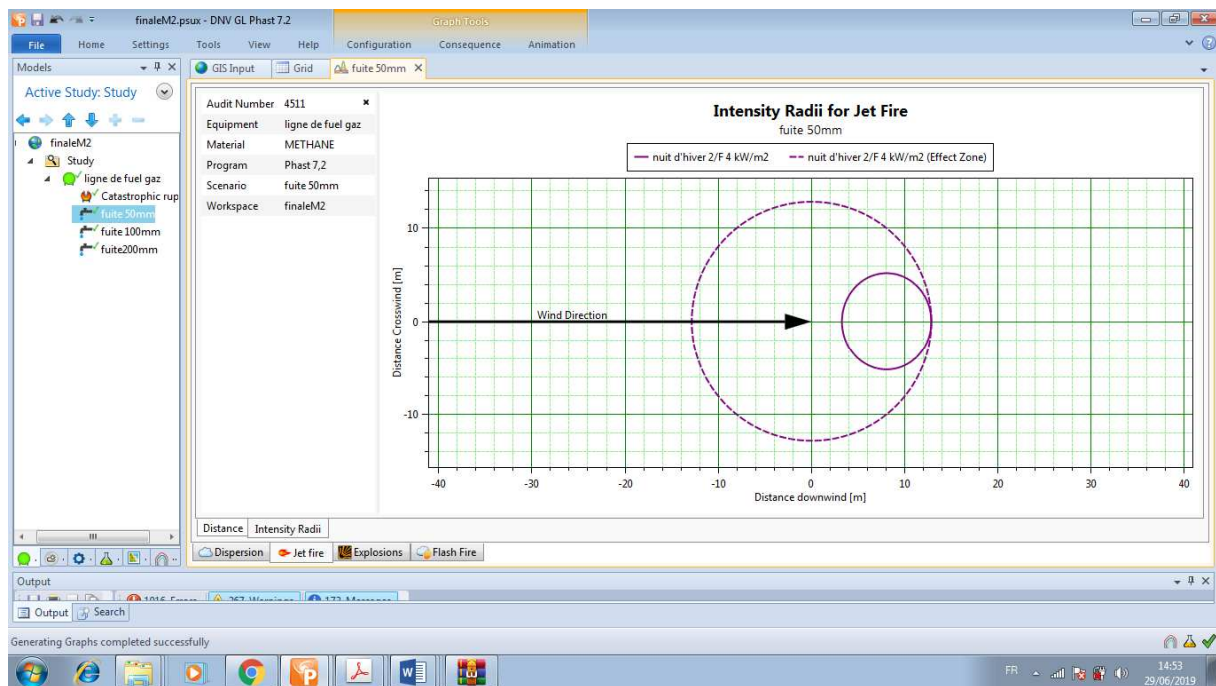


Figure IV-31 Intensity Radii for Jet Fire

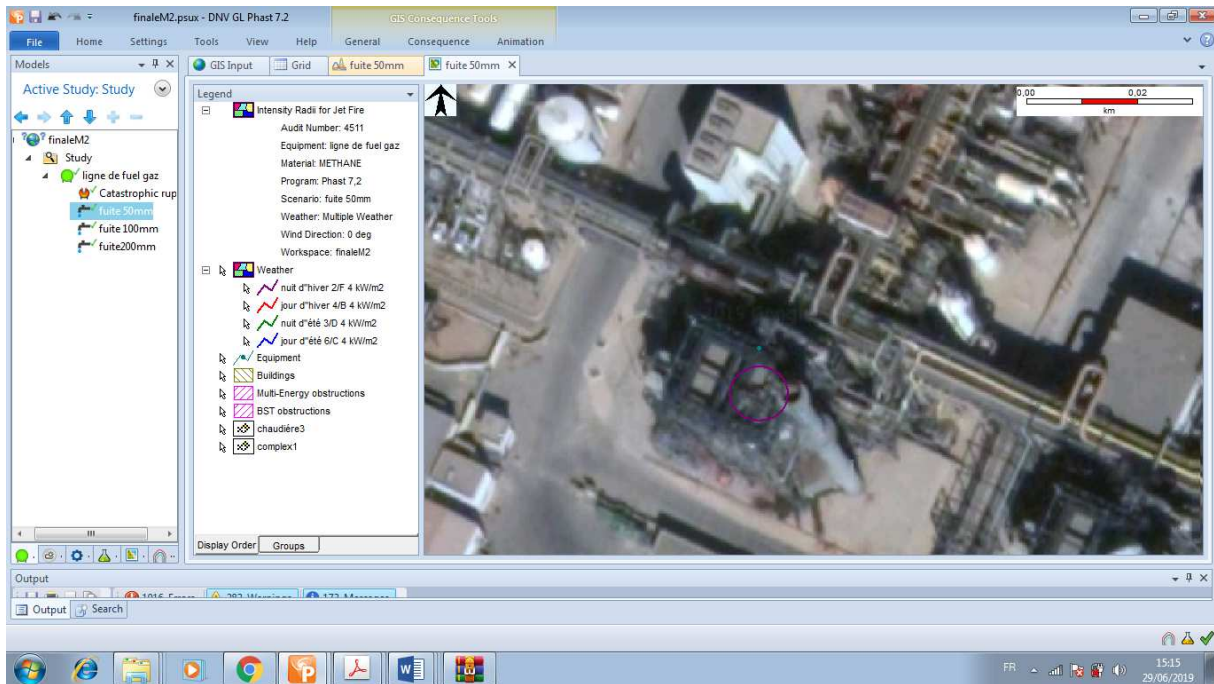


Figure IV-32 Intensity Radii for Jet Fire Satellite view

Les graphiques présentent la surface de la zone atteinte par le phénomène de feu de chalumeau suivant l'intensité de radiation lors d'une fuite de 50mm dans les conditions météorologiques les plus défavorable (2f 4kw/m2).

B.3. Explosion tardive (Late explosion):

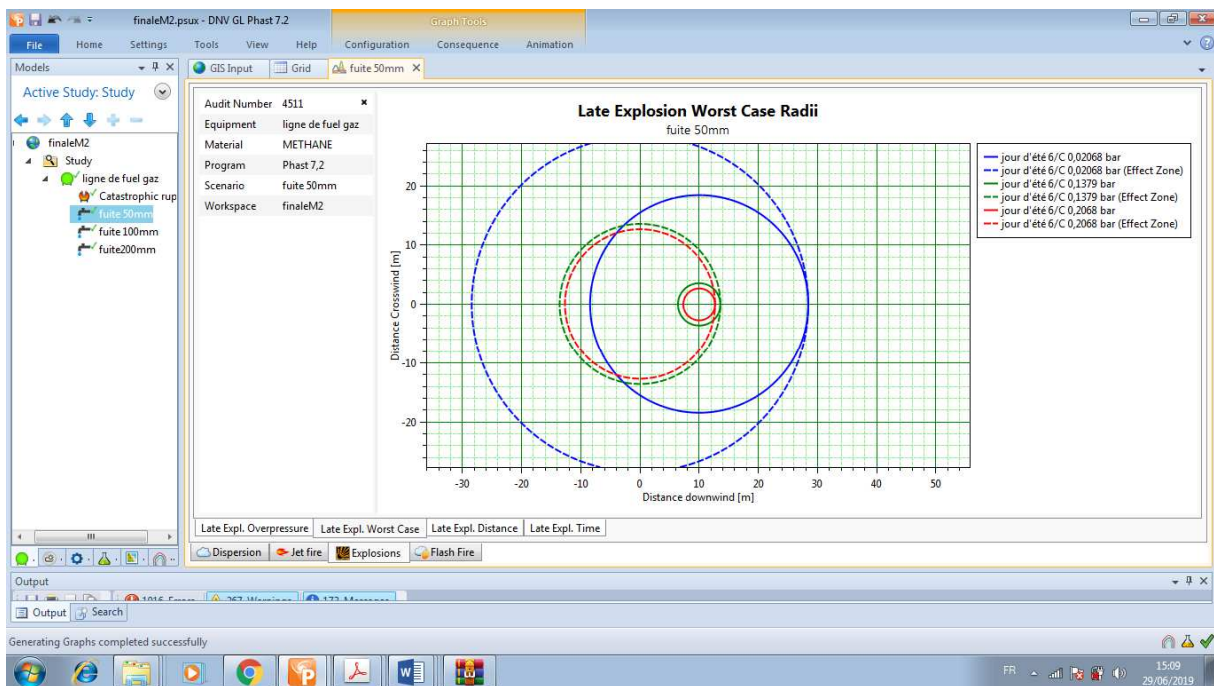


Figure IV-33 Late Explosion Worst Case Radii

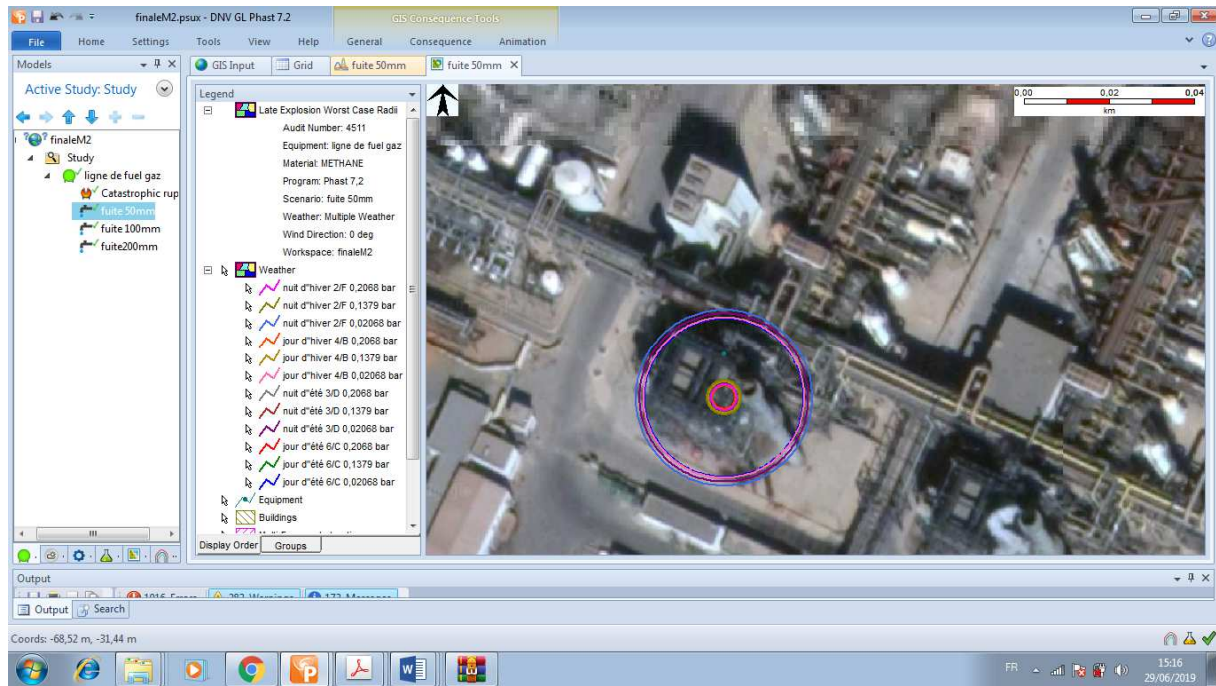


Figure IV-34 Late Explosion Worst Case Radii Satellite view

Les graphiques présentent la surface de la zone atteinte par l'explosion tardive suivant différentes pression du fuel gaz lors d'une fuite de 50mm dans différentes conditions météorologiques (cité dans la légende du graphique).
 Remarque : Dans les conditions 6/C enregistre la situation la plus critique.

B.4 Feu instantané (Flash fire) :

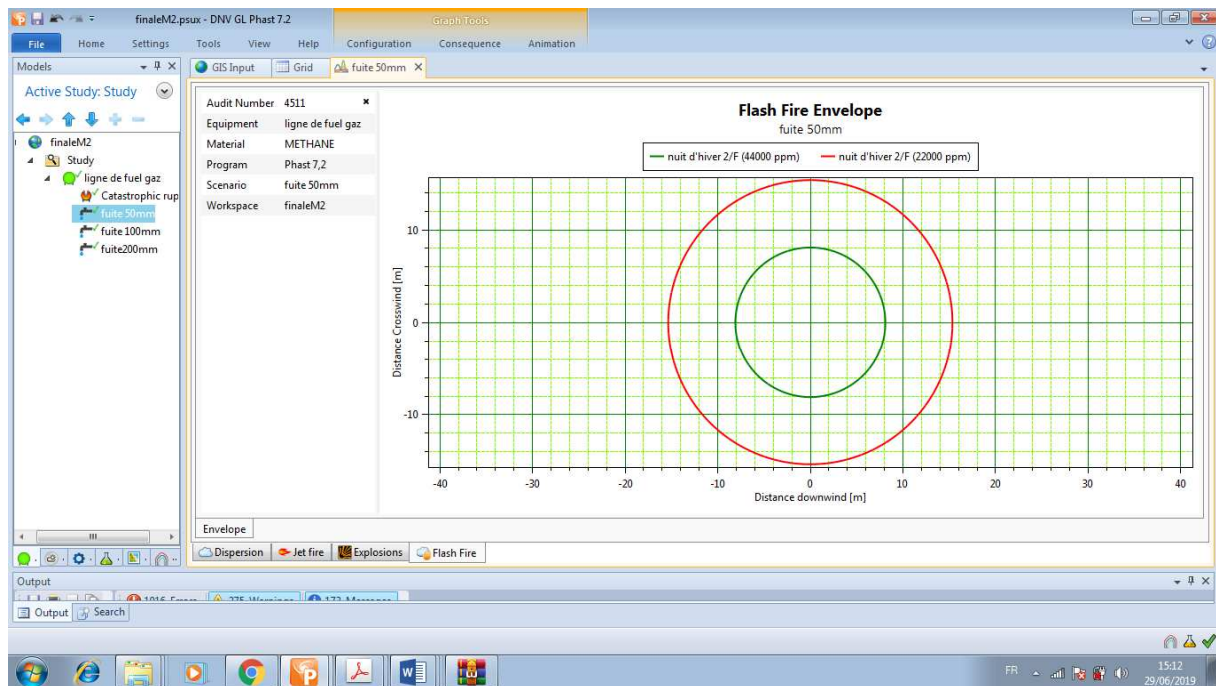


Figure IV-35 Flash Fire Envelope

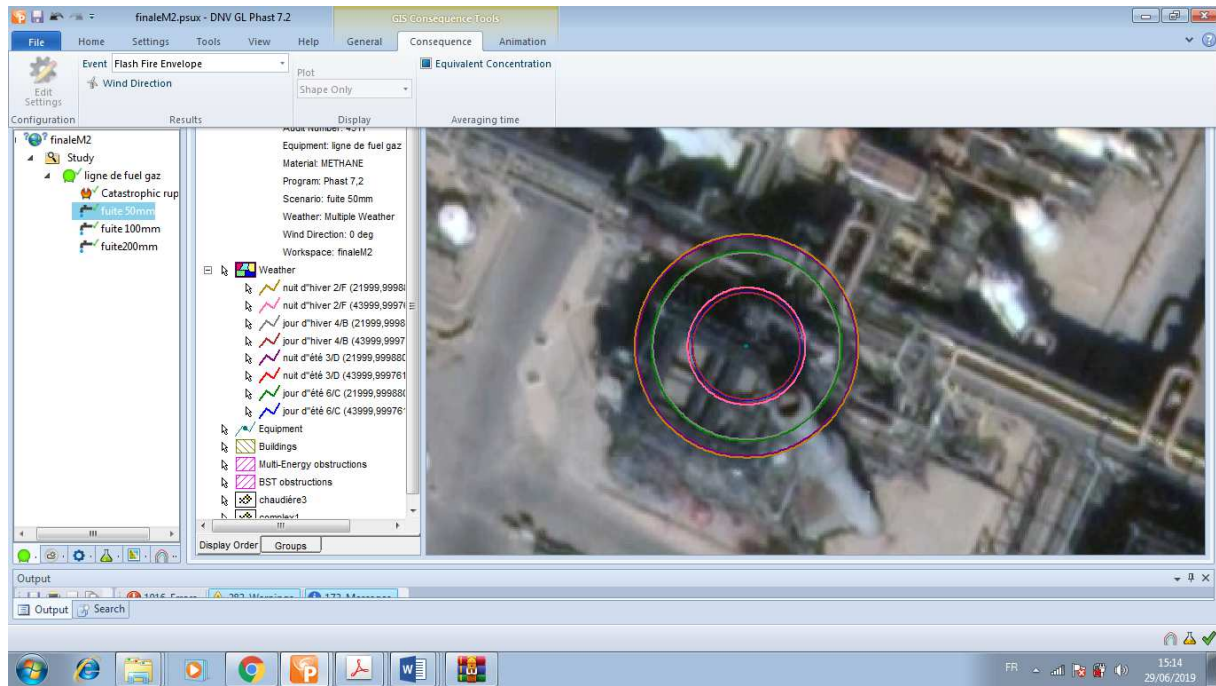


Figure IV-36 Flash Fire Envelope Satellite view

Les graphiques présentent la surface de la zone atteinte par le feu instantané lors d'une fuite de 50mm dans différentes conditions météorologiques et différentes concentrations du fuel gaz en (ppm) (cité dans la légende du graphique).

Remarque : Dans les conditions 2/F enregistre la situation la plus critique.

C. Fuite 200mm :

C.1 Dispersion :

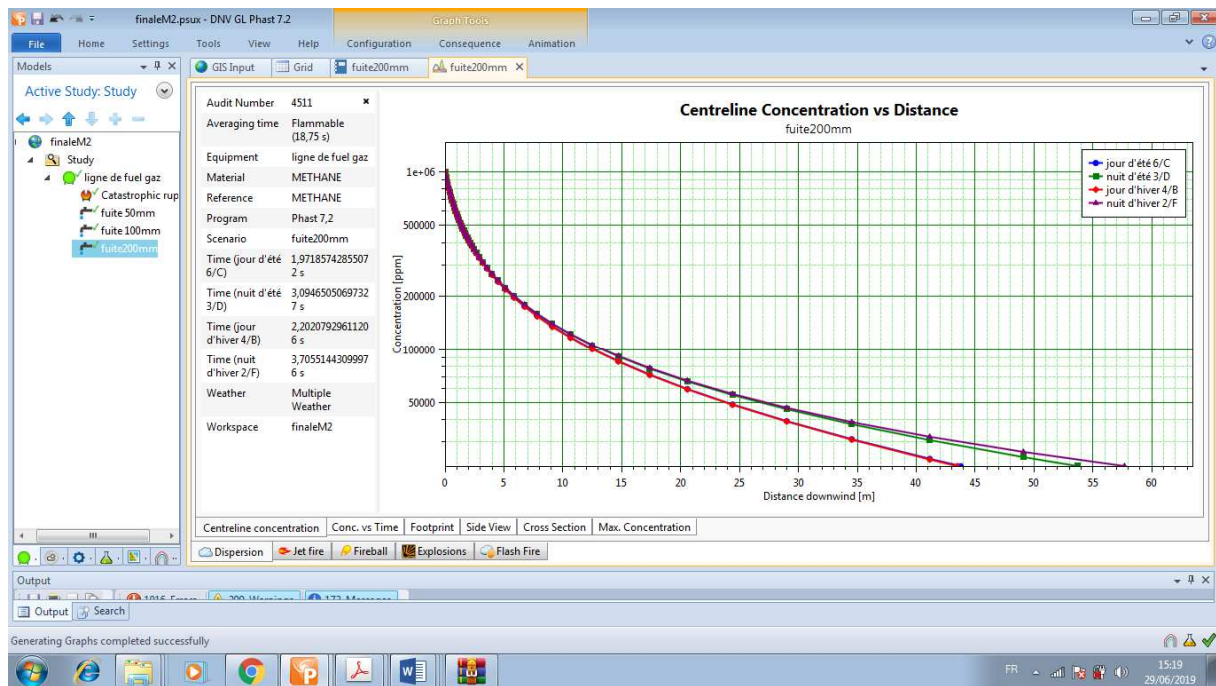


Figure IV-37 Centreline Concentration vs Distance

Le graphique présente la concentration du fuel gaz CH4 en (ppm) en fonction de la distance en (m) de dispersion lors d'une fuite de 200mm dans quatre conditions météorologique (jour d'été6/C, nuits d'été 3/D, jour d'hiver 4/B, nuit d'hiver 2/F).

C.2 Feu de chalumeau (jet fire) :

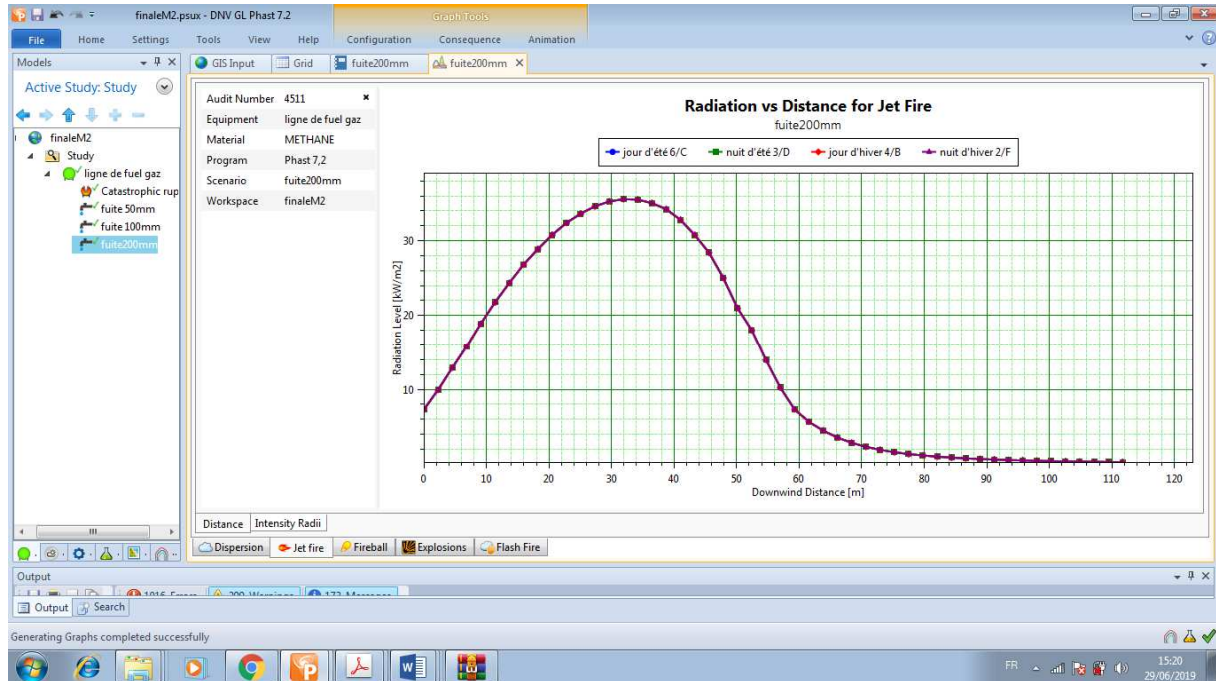


Figure IV-38 Radiation vs Distance for Jet Fire

Le graphique présente le niveau de radiation en (KW/m²) en fonction de la distance en (m) sous le vent du phénomène feu de chalumeau lors d'une fuite de 50mm dans quatre conditions météorologique (jour d'été6/C, nuits d'été 3/D, jour d'hiver 4/B, nuit d'hiver 2/F).

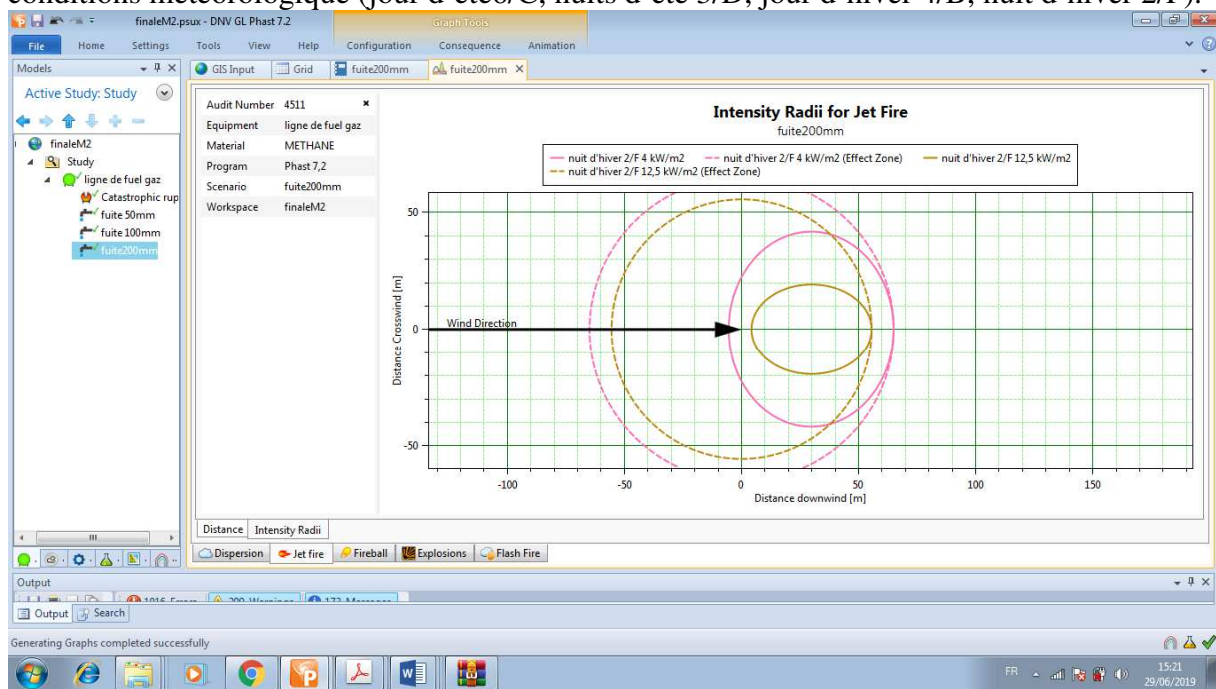


Figure IV-39 Intensity Radii for Jet Fire

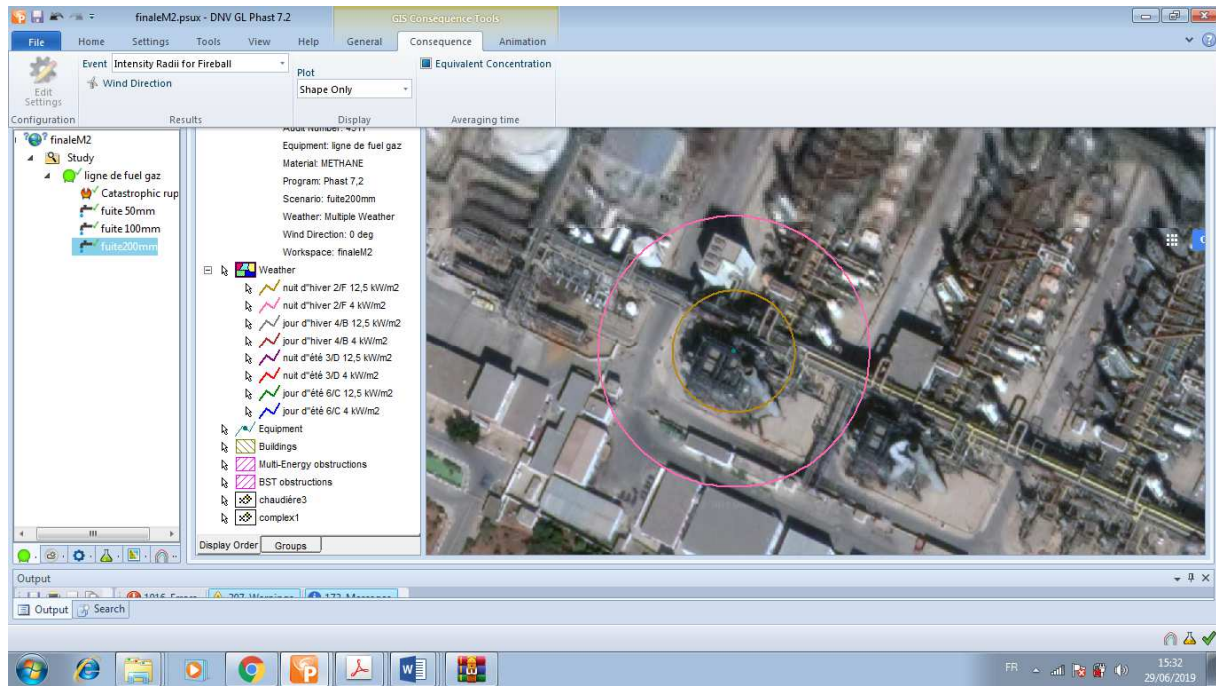


Figure IV-40 Intensity Radii for Jet Fire Satellite view

Les graphiques présentent la surface de la zone atteinte par le phénomène de feu de chalumeau suivant l'intensité de radiation lors d'une fuite de 200mm dans les conditions météorologique les plus défavorable (2F).

C.3 Boule de feu (fireball) :

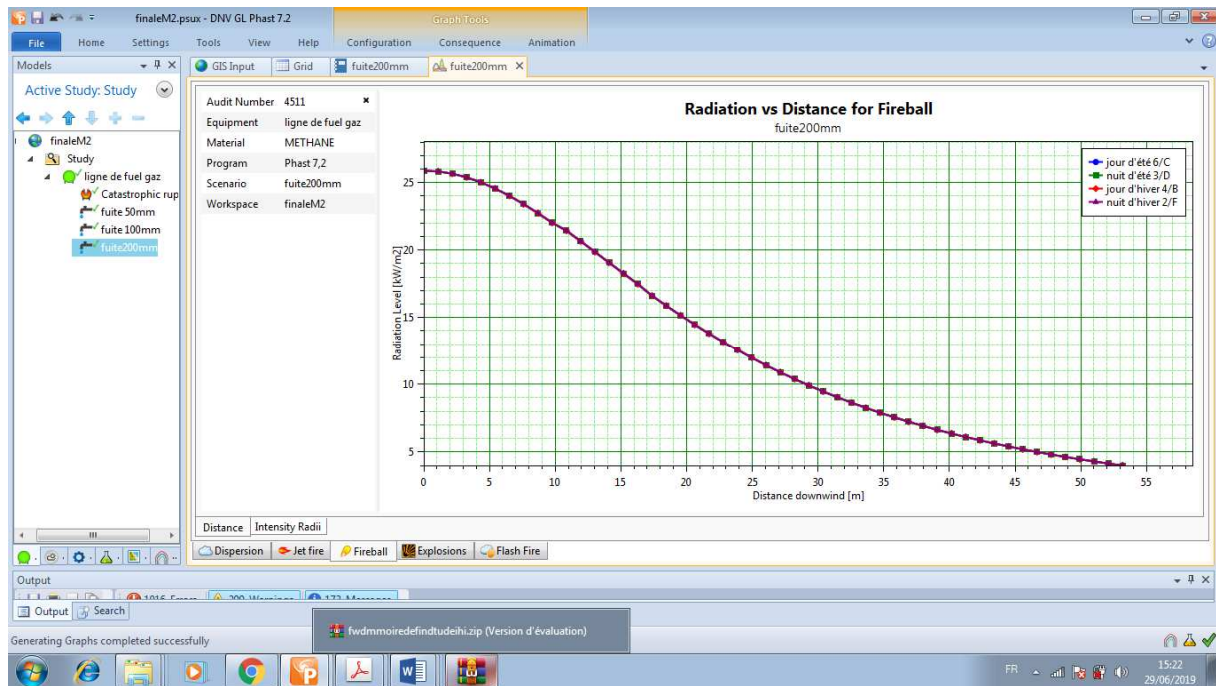


Figure IV-41 Radiation vs Distance for Fireball

Le graphique présente le niveau de radiation en (KW/m²) en fonction de la distance en (m) sous le vent du phénomène boule de feu lors d'une fuite de 200mm dans quatre conditions météorologique (jour d'été 6/C, nuits d'été 3/D, jour d'hiver 4/B, nuit d'hiver 2/F).

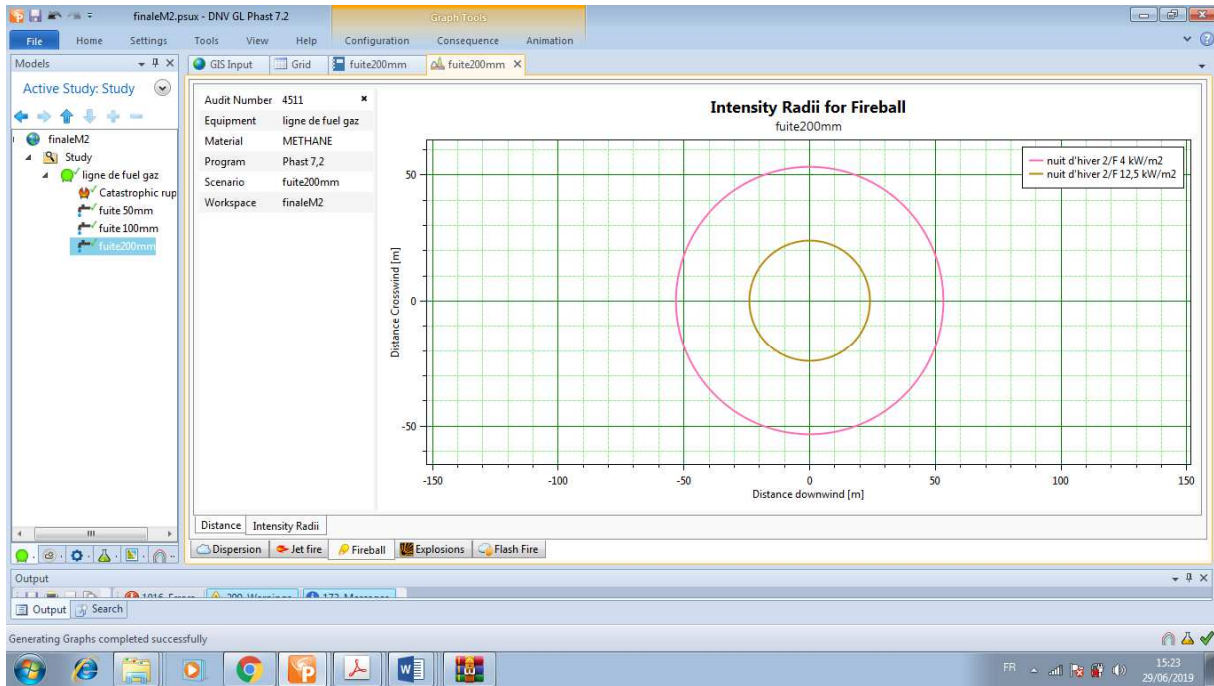


Figure IV-42 Intensity Radii for Fireball

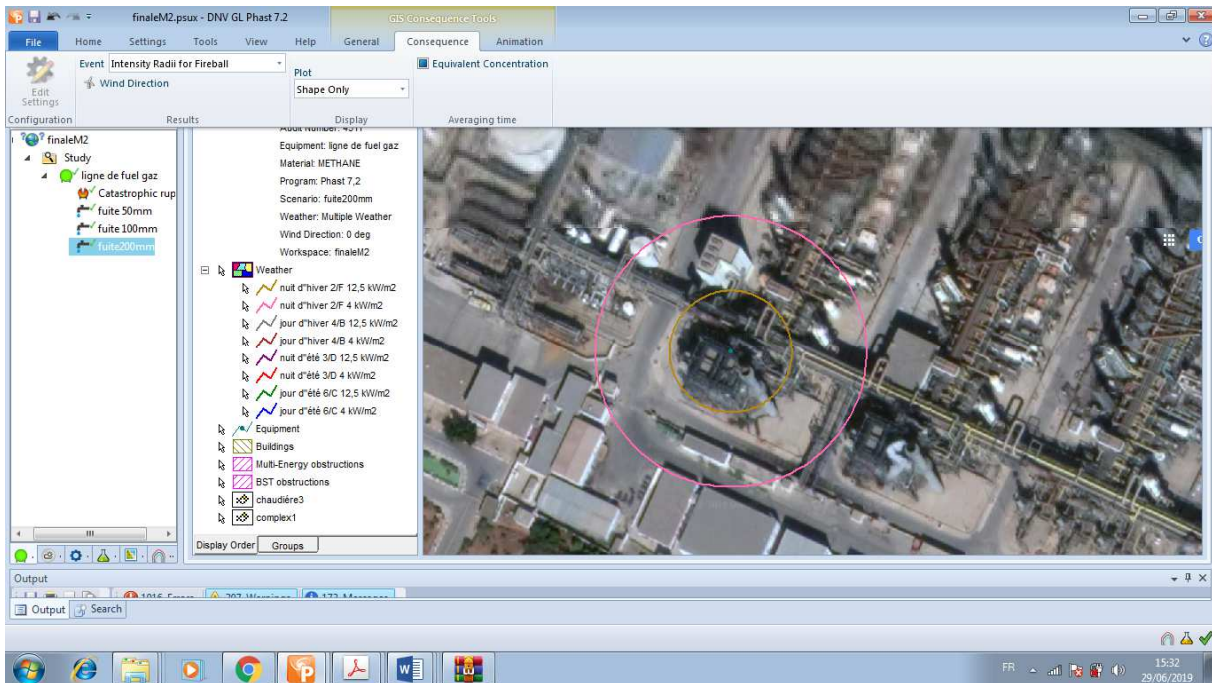


Figure IV-43 Intensity Radii for Fireball Satellite view

Les graphiques présentent la surface de la zone atteinte par le phénomène de boule de feu suivant l'intensité de radiation lors d'une fuite de 200mm dans différentes conditions météorologique (cité dans la légende du graphique).

C.4 Explosion:

C.4.1 Explosion immédiate (Early explosion):

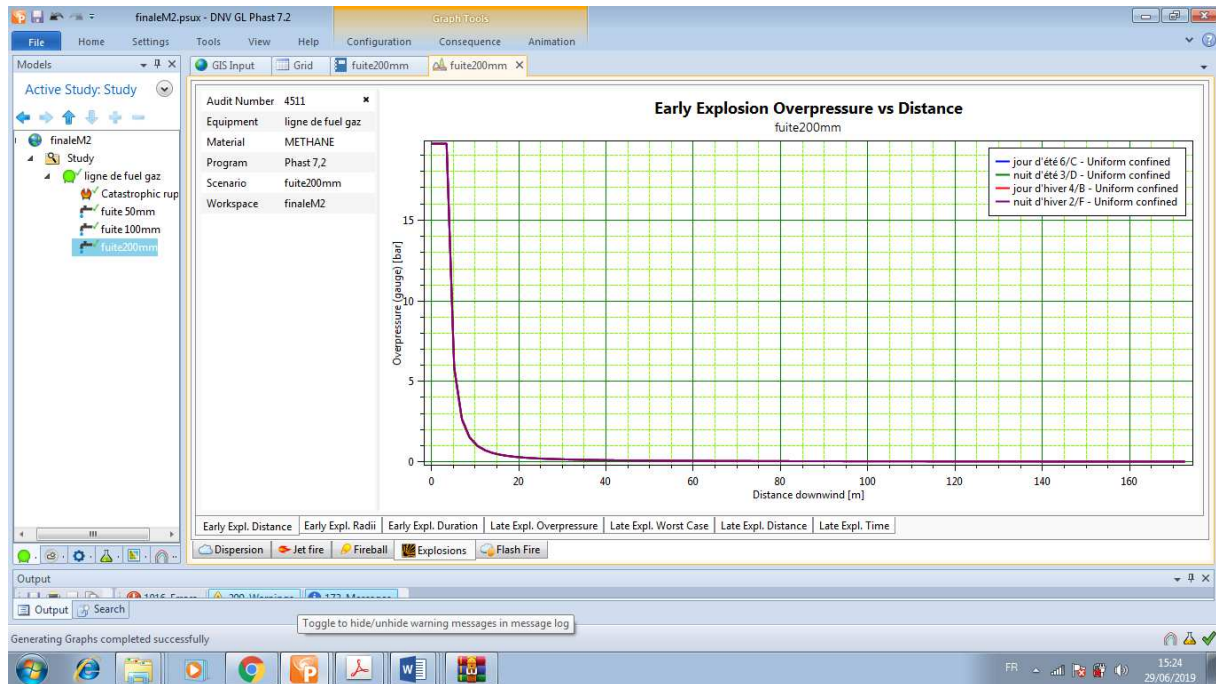


Figure IV-44 Early Explosion Overpressure vs Distance

Le graphique présente la surpression en (bar) dans la zone atteinte par l'explosion immédiate en fonction de la distance en (m) sous le vent lors d'une fuite de 200mm dans différentes conditions météorologiques (jour d'été 6/C, nuits d'été 3/D, jour d'hiver 4/B, nuit d'hiver 2/F).

Remarque : le même résultat pour toutes les conditions.

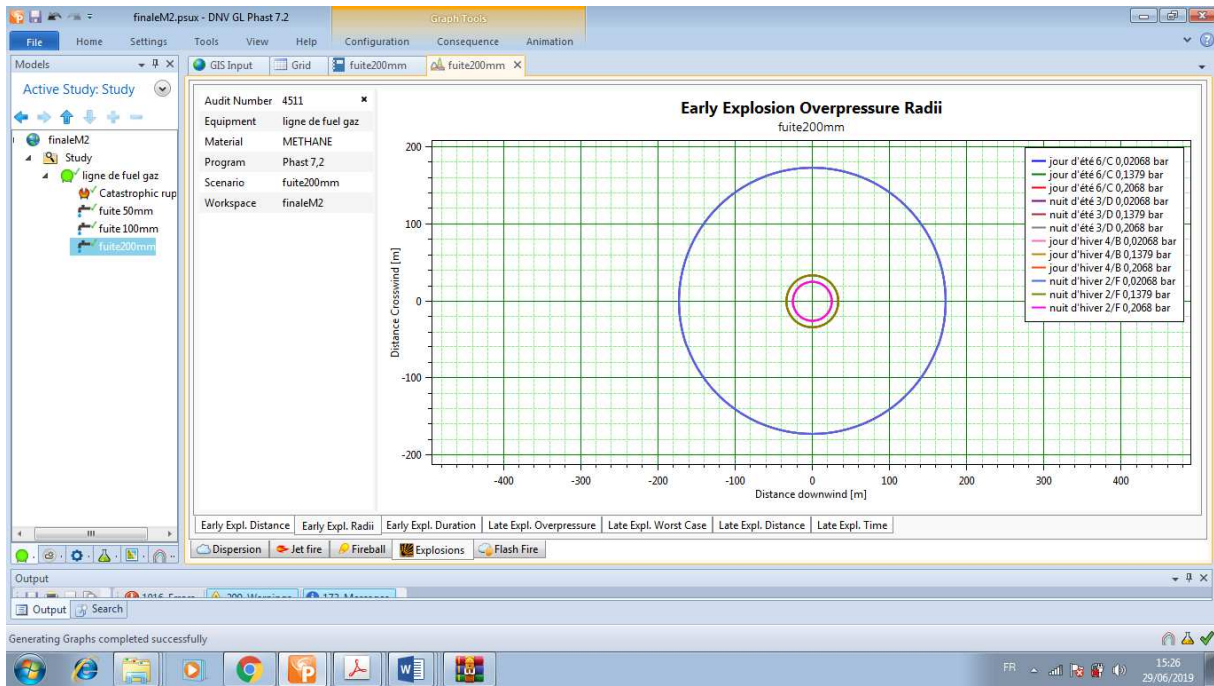


Figure IV-45 Early Explosion Overpressure Radii

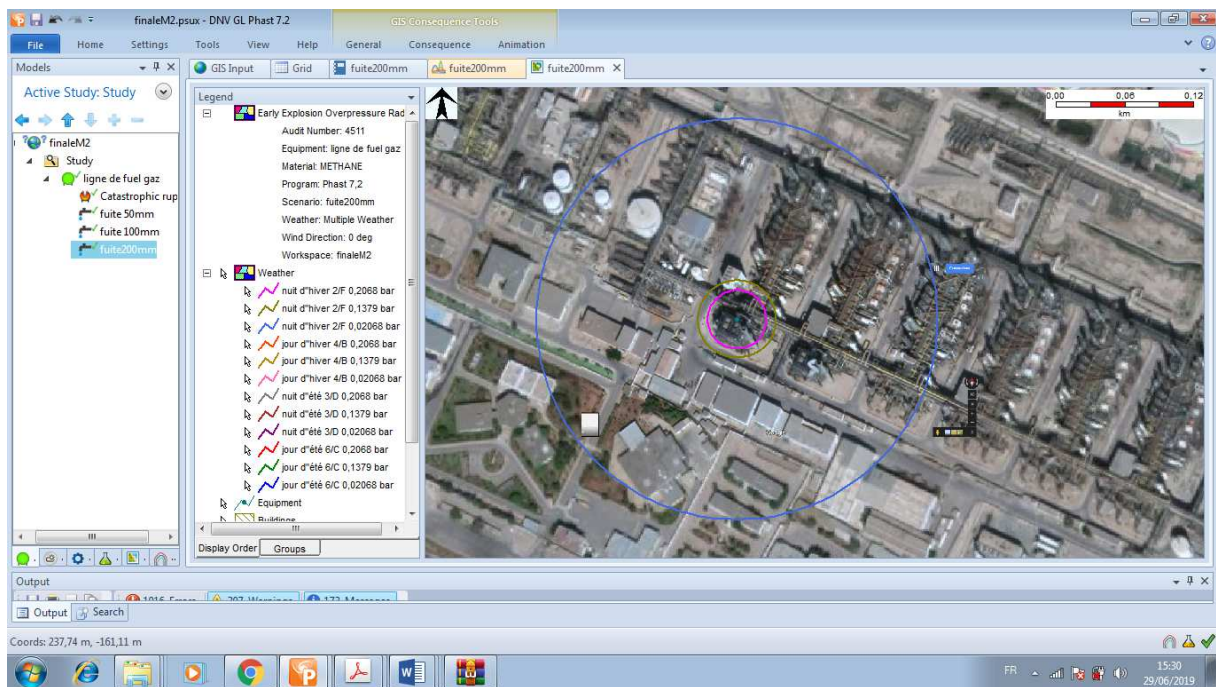


Figure IV-46 Early Explosion Overpressure Radii Satellite view

Les graphiques présentent la surface de la zone atteinte par l'explosion immédiate suivant différentes pression du fuel gaz lors d'une fuite de 200mm dans différentes conditions météorologiques (cité dans la légende du graphique).

C.4.2 Explosion tardive (Late explosion):

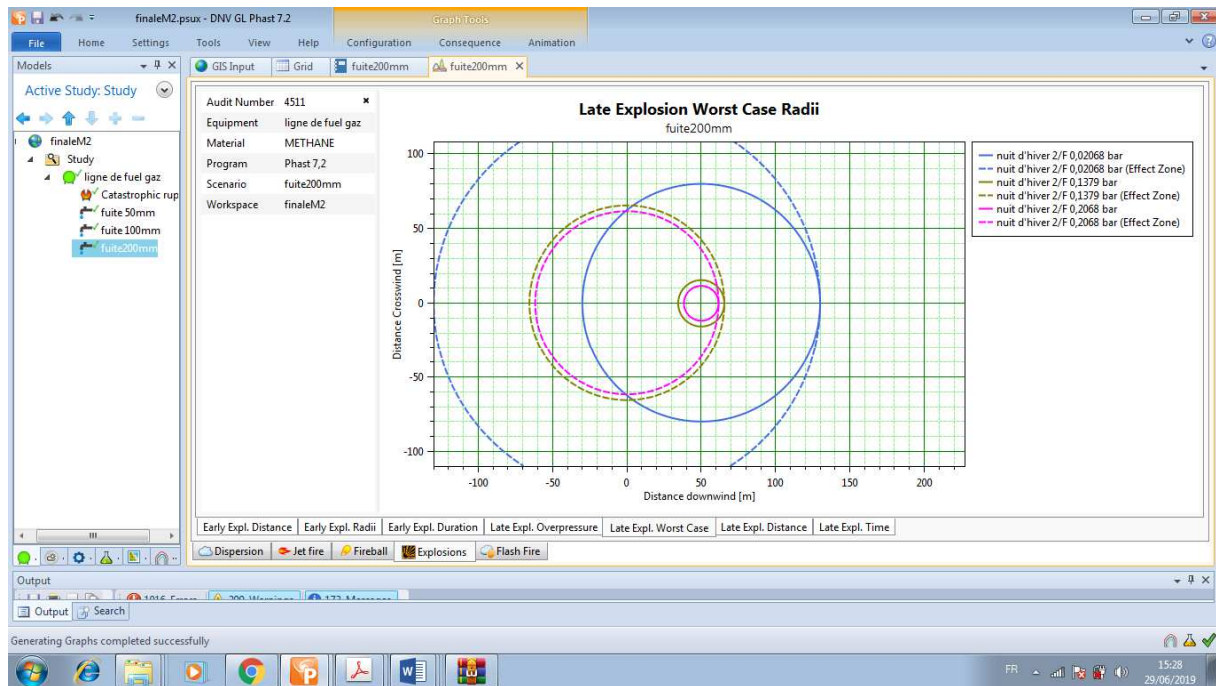


Figure IV-47 Late Explosion Worst Case Radii

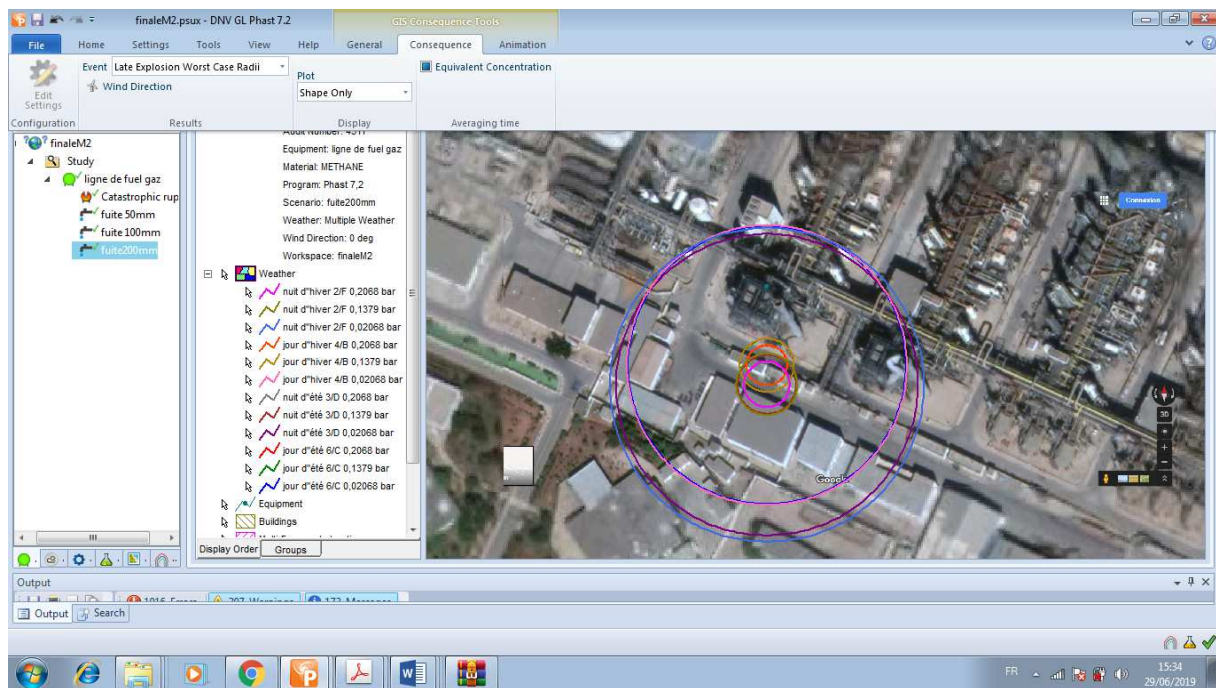


Figure IV-48 Late Explosion Worst Case Radii Satellite view

Les graphiques présentent la surface de la zone atteinte par l'explosion tardive suivant différentes pression du fuel gaz lors d'une fuite de 200mm dans différentes conditions météorologiques (cité dans la légende du graphique).

Remarque : Dans les conditions 2/F enregistre la situation la plus critique.

C.5 Feu instantané (Flash fire) :

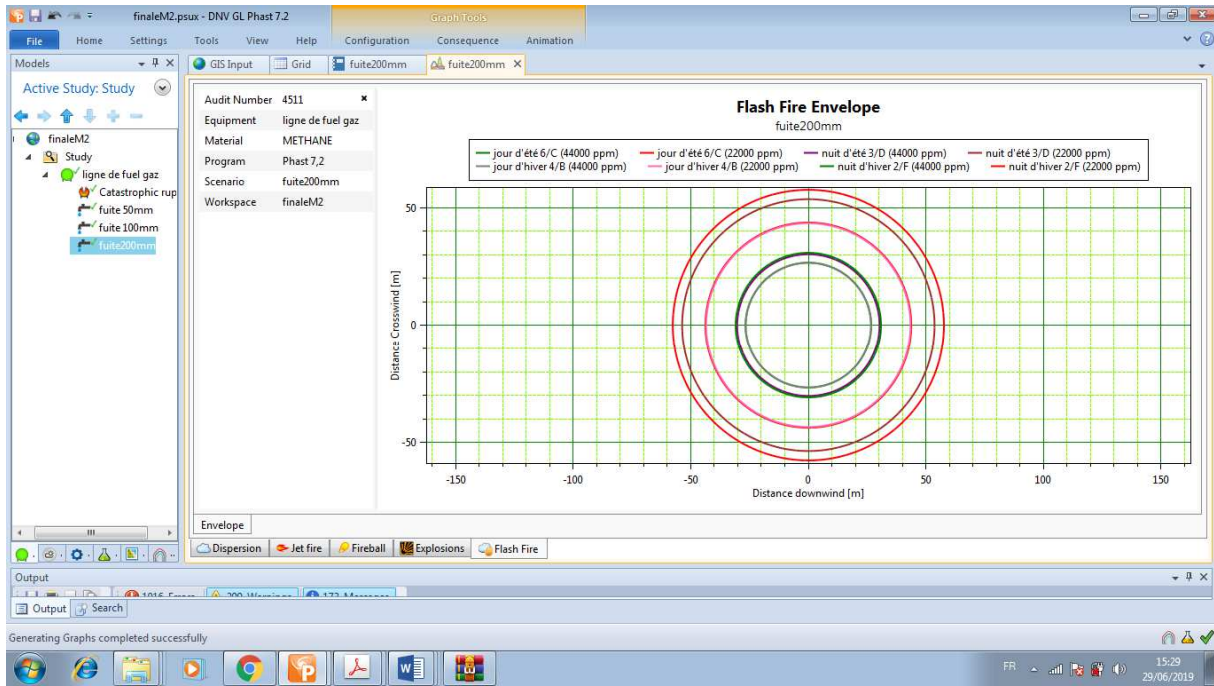


Figure IV-49 Flash Fire Envelope

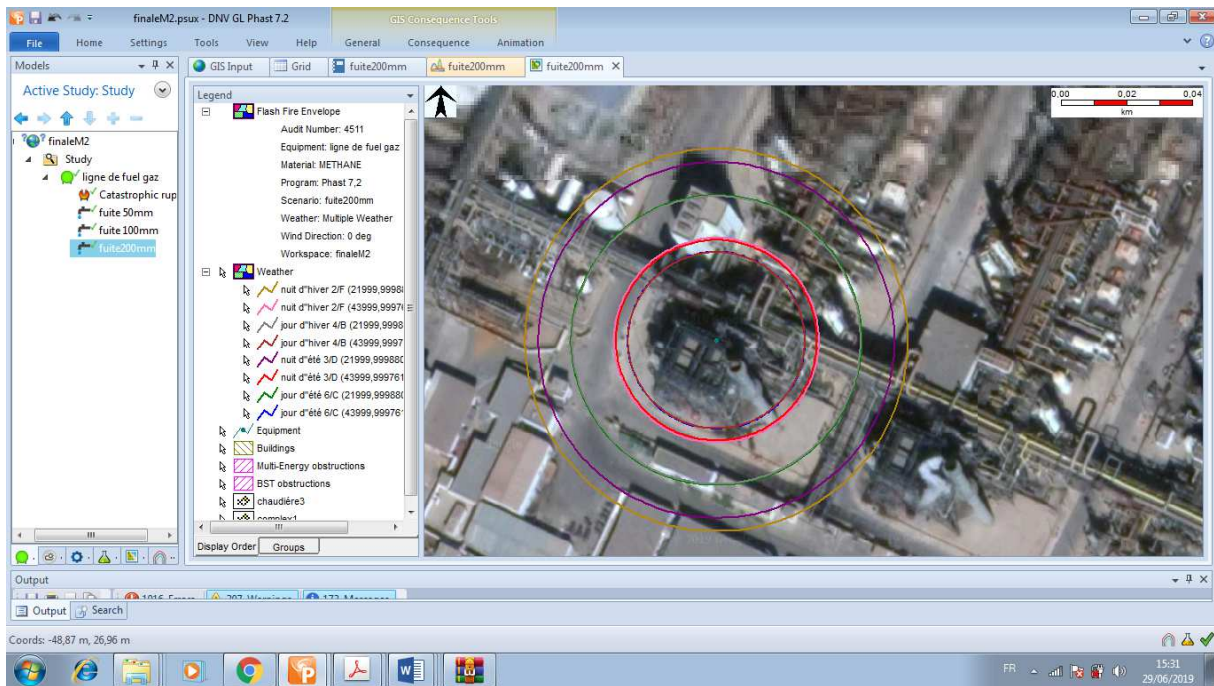


Figure IV-50 Flash Fire Envelope Satellite view

Les graphiques présentent la surface de la zone atteinte par le feu instantané lors d'une fuite de 200mm dans différentes conditions météorologiques et différentes concentrations du fuel gaz en (ppm) (cité dans la légende du graphique).

Conclusion n°2 :

Chaque cas étudié à générer des phénomènes avec des caractéristiques différentes mais tout aussi dangereuse.

Le logiciel Phast nous a permis en premier lieu d'avoir des résultats fiables et précis de l'analyse des risques, de générer des rapports étendus, graphiques et complets pour un affichage facile et intuitif des résultats, par exemple sur des cartes de localisation et des schémas de configuration d'usine.

En deuxième lieu la diversité des types et sources de dispersion nous a permis de bien modéliser les événements redoutés, par exemple. des fuites des conduites, des pipelines, des ruptures catastrophiques etc.

Au terme de l'analyse, Pour atteindre nos objectifs en matière de gestion des risques, nous devons avoir une compréhension solide des dangers présentés par l'installation et en utilisant l'outil d'analyse des dangers Phast on a pu évaluer rapidement et avec précision les risques potentiels posés par divers types de dangers.

Conclusion

Notre projet de fin d'étude a fait l'objet d'une gestion de risque et de sécurité dans un environnement industriel (oil and gas) , une étude approfondie de danger par ses différentes méthodes a été élaborées sur deux installations industrielles distinctes en Algérie.

A partir de nos connaissances et les recherches bibliographiques effectuées on a examiné l'état actuel de la sécurité dans ces deux différente zone industrielle convergeant dans le même domaine d'activité (oil and gas industry) .

Les principaux problèmes identifiés dans la recherche sont associés à la modélisation des risques dans des circonstances où le manque de données ou un niveau d'incertitude élevé existe. Ce projet à adopté une approche d'évaluation globale des risques et d'analyse des défaillances.

L'évaluation globale des risques consiste à évaluer les niveaux de risque des composants, des sous-systèmes ou de l'ensemble des installations, dans notre 1^{er} cas on a effectuer cette analyse en s'appuyant sur la méthode AMDEC ensuite on a utiliser nœud de papillon et arbres de défaillance pour représenter les relations de cause à effet pour les risques spécifiques dans le système. Dans notre 2eme cas on a évaluer les risque globalement par la méthode APR en 1^{er} lieu et afin d'évaluer qualitativement le cadre des risques technologique on a utilisé la méthode HAZOP en 2eme lieu pour déterminer les niveaux de risque associés aux différent paramètres de notre système .

L'utilisation de ce cadre d'évaluation peut aider les décideurs à obtenir une vue globale des risques et d'établir des mesures de sécurité performantes.

Il faut souligner qu'il est impératif d'intégrer une équipe pluridisciplinaire afin de limiter les incertitudes et avoir des sources plus fiable pour la récolte de donnés,

Les méthodes d'évaluations du risque sont conçues pour quantifier les niveaux de risque des composants afin de mieux cerner le danger .ces résultats peuvent aider les analystes des risques à sélectionner des options de contrôle et de prévention de risque afin les réduire.

Il n'est pas financièrement possible d'employer toutes les mesures sélectionnées. Par conséquent, il est nécessaire de classer et de sélectionner les meilleures mesures de préventions. Ces méthodes proposent une sélection des meilleurs contrôles permettant de maîtriser les risques existants dans le système.

La modélisation par logiciel tel que Phast peut être intégrés pour former une plate-forme permettant de faciliter l'évaluation des risques et la gestion de la sécurité sans compromettre l'efficacité de leurs opérations dans diverses situations où l'évaluation traditionnelle des risques et les techniques de gestion de la sécurité ne peuvent être appliquées efficacement.

Annexe 1-IV

1. Description générale de l'installation :

1.1 Description des activités et objectifs :

La Société MEDGAZ S.A. a été destinée pour le développement et l'exploitation d'une installation pour le transport de Gaz naturel par une tuyauterie sous-marine de l'Algérie en Europe à travers de la mer Méditerranée. La capacité initiale prévue de la section de la tuyauterie sous-marine est de 8 BCM/an (milliards de mètres cube) et dans la deuxième phase sa capacité sera augmentée à 16 BCM/an.

1.2 Description des installations

La Station de compression occupe une superficie de 150.000 m². La Station de compression augmentera la pression de gaz naturel en provenance de Hassi R'Mel afin que l'hydrocarbure puisse effectuer le trajet entre les côtes algérienne et espagnole.

La station de compression comprend les éléments suivants :

03 Groupes turbocompresseurs et auxiliaires

02 Turboalternateurs électriques et auxiliaires

Poste de garde

Bâtiment de contrôle

Ateliers de maintenance et magasin

Bâtiment électricité

Vannes

Gare racleur départ

Unité de production de l'air comprimé

Unité de production de l'azote

03 filtres de gaz à cartouches

Collecteur d'évent et Torche

Soupapes de Sécurité

03 Skid gaz

02 Cuves de récupération de condensât

Stockage et distribution de l'huile minérale

Une ligne de 24 pouces de la station BSCS jusqu'à la plage de SIDIDJELLOUL

Réseau anti-incendie

Bac d'eau incendie de 900 m³

Analyseurs de gaz

Magasin de produits chimiques et déchets chimiques

Nouveau magasin placé à l'extérieur de BSCS

Stockage de bouteilles de Gaz

A. Groupes turbocompresseurs et turboalternateurs:

La station de compression BSCS renferme trois groupes de compression montés en parallèle d'une puissance de 32 MW chacun, deux peuvent fonctionner en même temps tandis que l'autre sert de secours.

Les pressions d'aspiration et de refoulement des turbocompresseurs sont respectivement de 45 bars et 220 bars maximum.

Dans le montage en parallèle, tous les groupes aspirent le gaz dans un collecteur commun et le refoulent dans un collecteur également commun. Ils fonctionnent tous

avec la même hauteur, reçoivent un signal commun du système de régulation de la station. Dans ce cas, les compresseurs ont tous le même point de fonctionnement. Deux turboalternateurs de pour la production de l'énergie électrique d'une puissance égale à : 3.5 MW chacun.

B. Réseau gaz et vannes

Le système gaz principal comprend:

Une gare racleur départ.

Le collecteur d'aspiration station avec ses principaux piquages servant au recyclage.

Le collecteur refoulement de la station

Les circuits d'aspiration et de refoulement des turbocompresseurs y compris

L'alimentation du Skid GAZ.

Le gaz auxiliaire est prélevé du collecteur entré pour son conditionnement:

Gaz moteur 35 bars.

Gaz combustible turbocompresseurs 28 bars

Gaz instrument 07 bars

Gaz lancement pour le démarrage turboalternateurs 15 bars

Gaz combustible turboalternateurs (pression : 22 bars)

C Filtres a gaz

Filtres à cartouches pour en amont des compresseurs pour sécuriser les installations.

D Gares de racleurs

Gare de lancement des racleurs où les racleurs sont lancés vers le pipeline en mer.

Les gares de racleurs sont équipées de robinets vannes motorisés.

E Système de dépressurisation

Système de ventilation pour les tuyauteries de la station et pour la dépressurisation des turbocompresseurs. Le système est conçu comme une combinaison évent/torche avec combustion en torche dans les cas d'arrêt planifié du site et ventilation dans les cas d'arrêt d'urgence. Le système de ventilation permettra une dépressurisation à 7 bars en l'espace de 15 minutes.

Un système séparé de ventilation est fourni pour les installations associées de réception du pipeline terrestre (dans la zone sous contrôle de Sonatrach).

F Salle de contrôle local

Salle de contrôle pour l'exploitation locale de la station, pourvue d'un système local de contrôle du traitement et de l'automatisation (PCS) pour un fonctionnement sûr et efficace de la BSCS, y compris le système de contrôle de distribution (DCS) et le système d'arrêt d'urgence (ESD). Ce système est lié à la salle de contrôle central (CCR) située dans le port d'Almería. Le système de télésurveillance et d'acquisition de données (SCADA) est installé dans la CCR.

G Installations auxiliaires

Unité de démarrage et de gaz combustible

Unité de service du gaz avec un système de gaz combustible et de démarrage pour les turbocompresseurs et pour le turbogénérateur dotée d'un tableau d'instrumentation et de contrôle associé.

*Système de lubrification

Chaque machine tournante à son propre système de lubrification

*Sous-station électrique

Sous-station électrique équipée de tableaux de distribution à haut et basse tension, de centrale électrique, de Centrale de contrôle moteur (MCC), de tableaux de 220 Vac UPS, de 24 VDC et de 110 VDC, d'un tableau de protection cathodique.

*Système anti-incendie et de détection du gaz

L'installation comprend une pompe électrique ; une pompe diesel ; une pompe jockey et un réseau incendie sous terrain en GRP.

Chaque turbocompresseur et turbogénérateur comprend un Système de détection et extinction automatique. Les bâtiments de contrôle sont dotés du système de détection et extinction automatique. On peut trouver aussi des extincteurs à poudre et à CO2.

*Système anti-intrusion

Système de détection d'intrusion avec un circuit fermé de télévision et une détection de présence

*Système de traitement de l'eau

Système de traitement des eaux usées domestiques et des eaux grasses avec une fosse pour la collecte des eaux grasses et la séparation de l'huile, et usine de traitement avec une fosse septique et un traitement biologique pour les eaux usées domestiques.

H Bâtiments

Les bâtiments suivants sont partis du site de la BSCS :

*Bâtiment principal de contrôle doté d'une salle de contrôle, de bureaux, d'une salle de repos pour le personnel de l'usine.

*Sous-station électrique

*Bâtiment de Maintenance doté de bureaux, un magasin et un atelier

*Nouveau Magasin à l'extérieur

*Poste de garde

En principe, tous les bâtiments sont à un étage et ont une hauteur de 4 ou 5 mètres, sauf l'atelier qui s'élève à 6 ou 7 mètres. Les murs se composent de coffrages en béton remplis de briques, et les toits sont réalisés en plaques de béton avec de l'asphalte et une couche de graviers.

Un parc de stationnement a été prévu d'une capacité limitée, adjacente à l'entrée mais à l'extérieur de la clôture de la BSCS.

Un Nouveau Magasin situé à l'extérieur de l'installation de BSCS a été construit pour stocker les divers matériaux excédentaires de la phase de construction, ainsi que tout matériel nécessaire. La liste de matériels à stocker dans le nouveau magasin tel que :

Les filtres et les préfiltres de RR (se trouve dans des boites de carton).

Transformateurs électriques.

Moteurs électriques.

Les pièces de rechange de SOLAR et RR.

Des caisses en bois.

Des pièces lourdes

Les flexible.

Une machine de filetage.

Et tous ce qu'est volumineux.

Les compresseurs sont placés à l'air libre, mais insonorisés avec un niveau de bruit acceptable conformément aux lois et aux réglementations en vigueur. L'évent/torche

de la station est constituée essentiellement composée d'un tube de grand diamètre soutenu latéralement par des câbles à une hauteur de 75 mètres.
Le conduit pour les installations de réception de la tuyauterie terrestre s'élèvera à environ 15 mètres au-dessus du niveau du sol. Des fondations en béton coulées sous le niveau du sol supporteront l'évent.

I Services publics

Électricité

Deux Turbogénérateurs, un en marche et un en stand-by pour la fourniture électrique à la station.

Arrivé SONELGAZ 30 KV cas de problème dans les Turbogénérateurs

Groupe électrogène de secours

L'eau est nécessaire pour la consommation domestique du personnel d'exploitation (douches, salles de bain, etc.), aux besoins de l'atelier et au nettoyage, et au système de lutte anti-incendie. Le volume de la consommation d'eau estimée correspond à 6 personnes. La fourniture se fait soit par le réseau public, provenant d'un puits, soit livrée à la station par des camions citernes, en fonction de qui sera possible.

Eaux usées

Une petite unité de traitement, d'une capacité correspondant à 6 personnes, est installée pour les eaux domestiques usées. Le déversement de ces eaux se fait dans la Station d'épuration STEP de Sidi Safi d'Ain Temouchent collecter par un organisme agréé.

Les eaux grasses provenant des ateliers et des zones de machines et les déversements accidentels d'huile et les eaux de lavage sont divergées vers la fosse.

Les liquides produits dans les filtres à gaz sont drainés manuellement vers la fosse de condensation de 10 m³ pour être enlevés par des camions citernes.

Déchets

Les déchets de la station se composent de déchets domestiques du personnel, de déchets gras provenant du séparateur et des huiles usagées des compresseurs et des déchets provenant des activités de maintenance.

La collecte des ordures ménagères et d'autres déchets se fait par un organisme agréé évacuer à la décharge de Centre d'Enfouissement Technique CET Sidi Safi d'Aintemoucheht

Les huiles usagées et eaux huileuses collecté par une entreprise agréée pour

Le recyclage des huiles industrielles usagées

Des solutions pour la collecte d'autres déchets sont recherchées en collaboration avec les autorités locales.

Magasin Produits chimiques

Le magasin est situé à l'intérieur de l'installation de BSCS, area nord-est de la station, en dehors de la zone de risque d'explosivité. Il a été construit pour stocker les divers produits chimiques que sont nécessaires pour la opération normale de la station aussi que les déchets chimiques provenant de l'exploitation de BSCS. La surface de ce magasin est l'ordre de 103,6 M² divisé en 4 zones de stockage diverses.

Magasin Produits chimiques B (2eme magasin).

Ce magasin est situé dans une petite salle à côté du bâtiment de

maintenance. Il a été construit pour stocker les petites boîtes de produits chimiques qui sont nécessaires pour les opérations normales de la station. La salle est constituée d'un système de détection et des extinctions d'incendies et d'un système de ventilation forcée.

Une fois que les produits doivent être utilisés, ils sont transportés directement au lieu de l'utilisation ou stockées temporairement dans le Magasin Produits chimiques A.

1. 3 Description de l'environnement

A. Plan de situation

La station de compression de BSCS est située sur les collines près de Sidi Djelloul, à environ 1 kilomètre de la côte et à 10 kilomètres de l'est de Beni Saf. Elle se trouve sur le district municipal de Sidi Ben Adda, wilaya d'Aïn Temouchent (province). Le plan de situation fig. 2.1 ci-après donne la localisation géographique de la station par rapport à son environnement immédiat.

Environnement naturel

La région est relativement plate et couverte de pentes très douces, sur lesquelles des vignobles doivent être plantés. Le site de la BSCS est situé sur un plateau, entre une vallée au nord qui longe la route D.59 et une vallée au sud bordée par la route D.20 et l'Oued Sidi Rahmoûn. L'altitude du plateau est d'environ 70 mètres.

L'itinéraire sur le secteur terrestre depuis la plage de Sidi Djelloul traverse une région essentiellement consacrée à l'agriculture.

Peut-être les oiseaux autochtones et migrateurs qui utilisent les falaises pour la reproduction ou pour faire une halte pendant leur migration. Les principales zones concernées sont les falaises près de la mer, qui sont loin de l'itinéraire de la canalisation et où les espèces d'oiseaux sont communes et répandues, comme les mouettes, les fous de Bassan, les océanités tempête et les puffins.

Dans ce milieu, la végétation comprise dans la zone est décrite comme suit:

Les vallées au nord et au sud de l'emplacement envisagé pour la station de compression abritent des terrains agricoles. Les versants nord et sud de la colline de l'emplacement sont envahis par un mélange de différentes espèces d'herbes, de plantes et d'une croissance clairsemée de broussailles et d'arbres.

La partie occidentale du versant de la colline au nord est couverte d'une forêt dont certains arbres atteignent jusqu'à 5 mètres de haut. Dans la zone de l'étude, on peut trouver une végétation éparse de palmiers de Méditerranée (*Chamaerops humilis*).

Utilisation du sol et habitations sur le secteur terrestre algérien

B. Météorologie de la zone

B.a. Température ambiante

Température maximale : 41° C

Température annuelle moyenne : 18 ° C

Température minimale : 2.9 ° C

Températures indicatives mensuelles (° C) comme suit:

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	Julie	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Moyenne	17	14	14	18	19	22	24	25	23	21	16	13
Moyenne maximale	21	16	1	19	21	23	26	27	24	23	19	16
Moyenne minimale	14	11	11	16	17	21	22	23	21	19	14	10

Des températures annuelles maximales (° C) comme suit:

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Maximale	17	14	14	18	19	22	24	25

Tableau IV-1 Températures mensuelles et annuelles (° C)

B.b. Précipitation

Le maximum pleut journal: 118 mms

B.c. Vent

Vitesse maximale de vent : 137 kilomètre/h
Des orientations dominantes de vent : SW, E

B.d. Humidité

Environnement humide côtier. L'humidité typique quotidienne moyenne est dans la rang 60 - 80 %.

L'humidité maximale peut s'approcher avec 100 %.

B.e. Description des accès

L'accès aux installations de l'aide externe (principalement des véhicules de pompiers) peut être réalisé sans inconvénients par la route à Beni Saf et par la route à Marset Ed Debbâne .

1. 4 Analyse de substance dangereuses

Les substances dangereuses présentes dans les installations l'objet d'étude est :

- Gaz naturel (GN).
- Gas-oil.
- Produit Chimiques

L'information relative aux risques des substances présentes se résume dans le Tableau V-2

Tableau V-2 Risques principaux des substances présentes

Substances dangereuses	Risques associés
le Gaz naturel	- Extrêmement inflammable - Irrite les yeux et les canaux respiratoires
le Gas-oil	- Nocif : si avalé peut causer un dommage pulmonaire. - L'exposition répétée peut provoquer une sécheresse et une formation de crevasses dans la peau.
Produit Chimiques	- Toxique, irritant, corrosive selon le produit - Effet selon le temps d'exposition et le point d'entrée

Le Tableau V-3 présente une liste des substances qui pourraient avoir un impact sur l'environnement en cas de déversement et leurs localisations.

Tableau IV-3 Produits d'usage à BSCS

Produits	Localisation	Moyens de contrôle
Huile minérale	Turbocompresseur UK10	Contrôle de niveau et contrôle de feu
	Turbocompresseur UK20	
	Turbocompresseur UK30	
	Turbogénérateur UG70	
	Turbogénérateur UG80	
	Recevoir 1-V-03	
	Réservoir 1-V-04	
Huile Synthétique	Turbocompresseur UK10	Contrôle de niveau et contrôle de feu
	Turbocompresseur UK20	
	Turbocompresseur UK30	
	Magasin	-
Gasoil	1-UP-77	Contrôle de niveau
	1-DG-01	

Dans le tableau IV-2 et IV-3 se présentent des propriétés et caractéristiques du gaz naturel: Composition du gaz:

Constituant	% Mol
Méthane (CH ₄)	83.25
Ethane (C ₂ H ₆)	7.50
Propane (C ₃ H ₈)	1.92
N – Butane (C ₄ H ₁₀)	0.82
N – Pentane (C ₅ H ₁₂)	0.24
N – Hexane (C ₆ H ₁₄)	0.18
Azote (N ₂)	5.94
Gaz Carbonique (CO ₂)	0.15

Tableau IV-4 La composition du gaz

Propriétés physiques du gaz:

Poids Moléculaire (MW) (g / mole)	18.93
Poids Spécifique (Conditions Normales) (Kg / m ³)	0.873
Densité Relative (Conditions Normales)	0.653
Viscosité (Conditions moyennes de transport) (Cst)	0.0128

Tableau IV-5 Les Propriétés physiques du gaz

1. 5 Scénarios d'accident :

Les risques majeurs dans la station de compression ou sa canalisation de transport sont les fuites de produits inflammables et les incendies. Plusieurs scénarios sont envisageables :

Fuites de gaz dans la section entrée de la station

Feu dans la section entrée de la station

Fuites de gaz dans la section sortie de la station

Feu dans la section sortie de la station

Fuite de gaz dans les filtres de gaz

Feu dans filtres de gaz

Fuite de gaz dans les compresseurs a gaz

Feu dans les compresseurs a gaz

Feu dans les réservoirs de stockage d'huile minérale

Feu dans les caisses d'huile des turbines

Feu dans les caisses d'huile des turboalternateurs

Feu dans les réservoirs de récupération de condensât

Fuite de gaz dans le pipeline

Feu dans le pipeline

Fuite de gaz dans le Terminal SONATRACH

Feu dans le Terminal SONATRACH

Déversement des produits chimiques stockés dans la station

Feu de produits chimiques stockés dans la station

Fuite des marchandises dangereuses pendant le transport à l'extérieur et l'intérieur de la station

Feu des marchandises dangereuses pendant le transport à l'extérieur et l'intérieur de la station

Fuites des bouteilles de gaz comprimés dans le Stockage de Bouteilles de Gaz

Feu dans le Stockage de Bouteilles de Gaz

Feu dans les bâtiments

Feu dans la Sous-station Electrique

Feu dans le nouveau magasin

Annexe 2-IV

1. Description du complexe GL2/Z :

Le complexe GNL2/Z s'étendant sur une superficie de 72 ha, la capacité de production de GNL du complexe est de 18 000 000 m³/an. Le complexe GL₂Z est composé de 6 trains de production tous identiques d'une capacité de production de 3 000 000 m³/an chacun. Le GNL est stocké dans trois Bacs calorifugés d'une capacité de 100 000 m³ chacun.

Par un procédé de fractionnement du gaz (Air Products) ; on récupère du propane à 380 000 m³/an, du butane 330 000 m³/an, de la gazoline 200 000 m³/an et de l'hélium. Le propane et le butane sont acheminés par canalisation vers le complexe GP₁Z alors que la gazoline est stocké dans leur bac de stockage de 14 000 m³ pour être exportée, l'hélium est conditionné est fourni à HELIOS pour sa commercialisation.

GL₂/Z dispose d'un poste de chargement de GNL pour la réception des méthaniers à réservoir cryogénique M4 et M5.

Le GNL est transporté par les méthaniers puis regazéifié à l'arrivée dans les pays Utilisateurs.

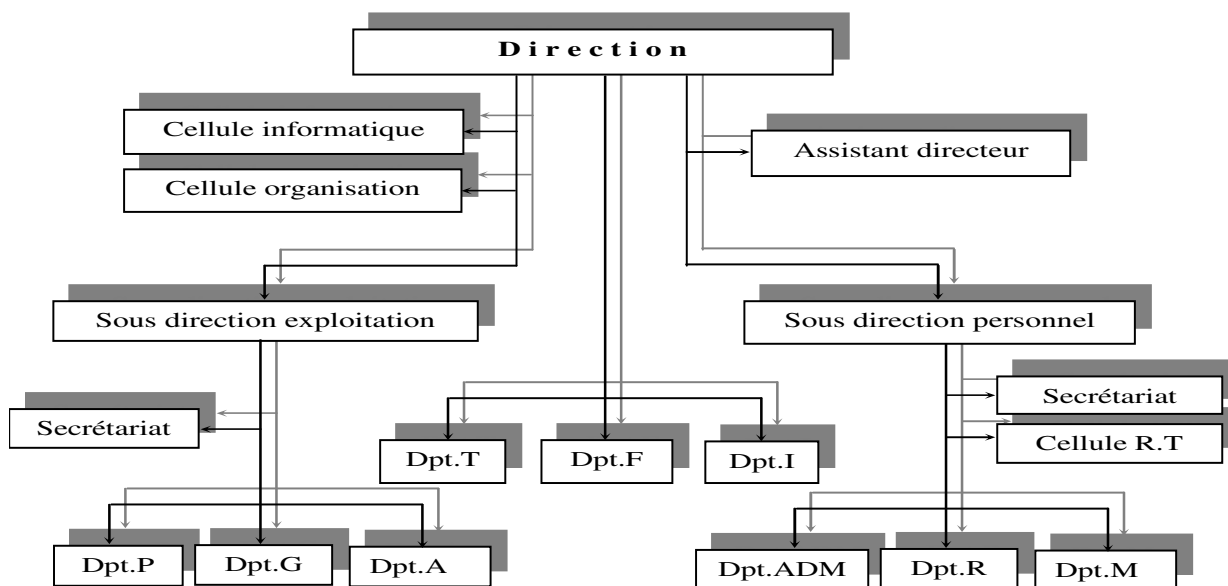


Figure IV-1:L'Organigramme général du complexe GL₂/Z

2 Capacité de production :

GNL :17.8 millions m³ / an (avec extraction).

Propane : 410 000 m³ / an.

Butane : 327 000 m³ / an.

Gazoline : 196 000 m³ / an.

Nombre de trains de liquéfaction : 6.

Capacité totale de stockage :

3 bacs aériens de GNL : 300 000 m³.

2 bacs de gazoline : 29000 m³.

Postes de chargement de GNL :

(Réception de méthaniers de 50 000 à 125 000 m³).

Prise d'eau de mer : 6 x 30 900 m³/heure

Production d'électricité : 3 x 20 mégawatts (couplée au réseau national).

Production d'eau distillée : 5x 45 m³ / heure.

3 L'implantation du complexe :

-L'implantation du complexe est divisée en trois parties bien distinctes

- Les utilités.
- Les trains de procédé.
- La zone terminale « Stockage - Chargement ».



Figure IV-2 : Répartition des zones de complexe GNL2/Z

Les utilités

Le fonctionnement de l'usine pour la production du gaz naturel liquéfié, nécessite la disposition d'un nombre de fluides et d'énergie, tels que la vapeur d'eau, l'eau de refroidissement, l'air comprimé, etc....

Sources d'énergie

La vapeur d'eau est produite par (06) chaudières à haute pression (62 Bars) et une chaudière basse pression (17 Bars). Cette vapeur sert à entraîner les équipements, tels que les turbogénérateurs (03) et la turbopompe d'alimentation en eau de chaudière.

Source de refroidissement

Le complexe dispose de six pompes d'eau de mer qui assurent la distribution en eau de mer au niveau des trains de liquéfaction et des utilités pour le refroidissement dans les échangeurs.

Production d'électricité

L'électricité est produite par trois (03) turbogénérateurs ayant une capacité chacun 20 MW ainsi qu'une source SONELGAZ avec une tension de 60 KV.

Toutefois, pour une mise en marche normale, seuls deux turbogénérateurs peuvent suffire à produire la totalité de l'énergie demandée qui est environ de 36 MW.

Six unités de dessalement sont implantées au sein du complexe d'une capacité de 45 m³/hr chacune, permettant ainsi suffisamment d'eau distillée, destinée à assurer d'une manière continue l'alimentation des chaudières.

Production d'air comprimé

Pour des raisons de sécuritaires, le procédé repose en grande partie sur une régulation pneumatique assurée par ensemble de quatre compresseurs.

De plus, on dispose d'un compresseur de secours en cas de besoins.

Description du process :

La production de GNL dans le complexe GL2Z est assurée par six trains fonctionnant en indépendance où chacun comprend un nombre d'équipements montés principalement en série, assurant ainsi la transformation du GN de l'état gazeux à l'état liquide.

Chaque train est divisé en 5 sections :

- Section de traitement de gaz.
- Section séparation

- Section liquéfaction
- Section compression
- Section fractionnement

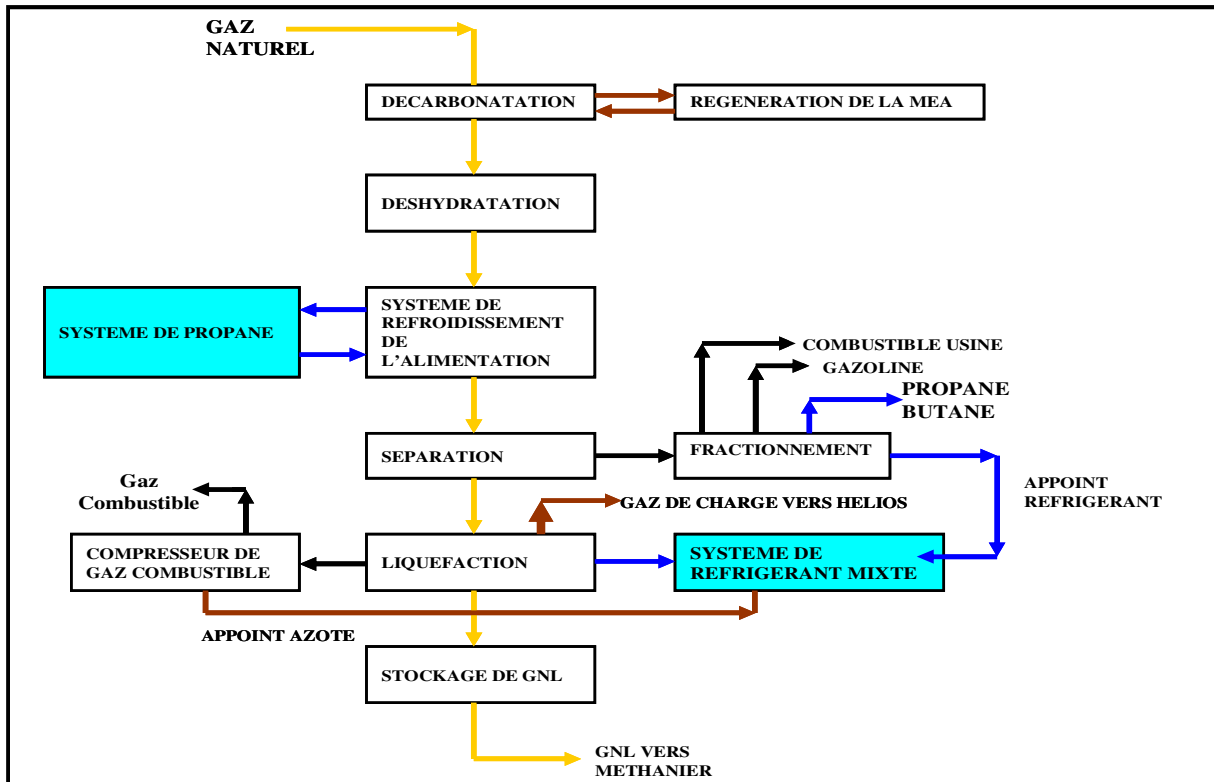


Figure IV-3 : Schéma simplifié du procédé de liquéfaction du gaz naturel du complexe GL2/Z

Section de traitement de gaz

Les composants du gaz naturel tels que le gaz carbonique, la vapeur d'eau et les hydrocarbures lourds tendraient à se condenser et à se solidifier à des basses températures supérieures à celles de la liquéfaction du gaz naturel (-162°C) provoquant l'obstruction des tuyauteries et des équipements froids. C'est pour cette raison qu'on doit éliminer ces composants.

Composant	Nomenclature	Pourcentage molaire en moyenne
N ₂	Azote	5,80
He	Helium	0,19
CO ₂	Dioxyde de carbone	0,21
C ₁	Methane	83,00
C ₂	Ethane	7,10

C ₃	Propane	2,25
iC ₄	Iso butane	0,40
nC ₄	Butane	0,40
C ₅	pentane	0,15
C ₆₊	les essences	0,18

Tableau V-1 :Composition chimique du gaz naturel

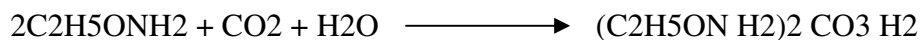
Démercurisation

L'unité de démercurisation est installée en amont de la section décarbonatation du gaz naturel. Elle est conçue pour réduire la concentration de mercure dans le gaz d'alimentation de 100 micros gr/Nm³ à 0.01 micro gr/Nm³.

Décarbonatation

Le gaz carbonique est extrait du gaz naturel par lavage de celui-ci à contre-courant dans une colonne par une solution aqueuse à 15% de monoéthanolamine C₂H₅ONH₂ (MEA).

Cette élimination s'effectue selon la réaction réversible suivante :



A température ambiante et sous pression, l'amine et le CO₂ forment un complexe, correspondant au second membre de la réaction tandis qu'à chaud et sous basse pression, le complexe se détruit, libérant le CO₂ régénérant.

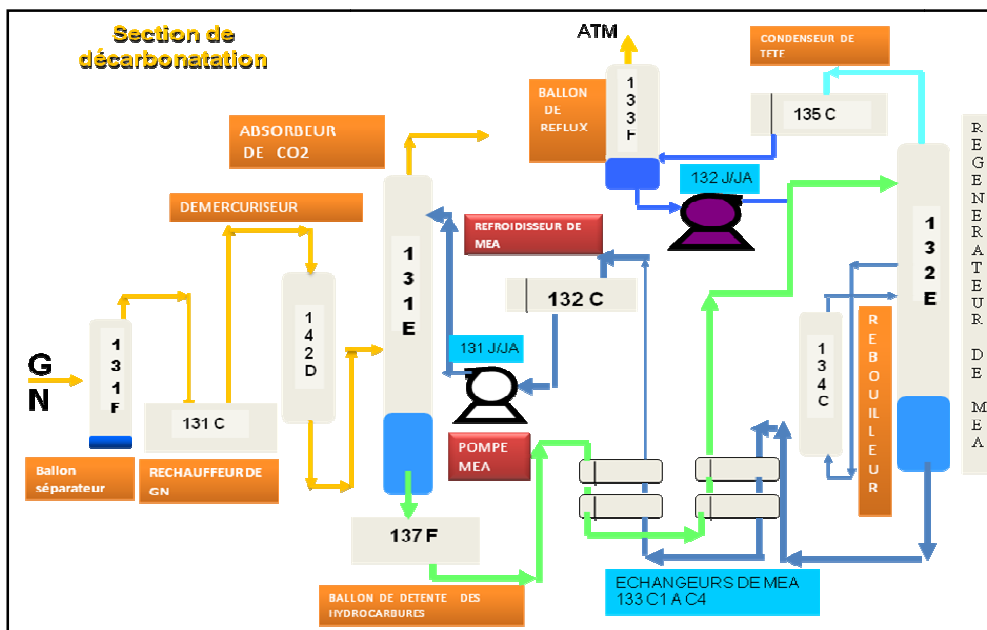


Figure V-4 : Schéma du procédé de la section de décarbonatation du gaz naturel du complexe GL2/Z

Déshydratation

La déshydratation du gaz naturel décarbonaté et saturé en eau par son contact avec la solution d'amine est réalisée par l'adsorption sur des matériaux alumine et tamis moléculaires. L'adsorption est un procédé sélectif de séparation qui permet à un solide de fixer à sa surface certain type de molécule à basse température et de les libérer par action de la chaleur, le phénomène d'adsorption est réversible.

La section de déshydratation comprend :

- Trois sécheurs dans lesquels sont disposés à la partie supérieure les lits d'alumine, et à la partie inférieure les tamis moléculaires.

- En amont des sécheurs, un refroidisseur du gaz destiné à réduire au maximum la quantité d'eau à absorber dans les sécheurs, suivi d'un ballon de séparation des sécheurs par chauffage et refroidissement.

Trois filtres destinés à retenir les particules d'absorbant en aval des sécheurs.

Après le passage dans les sécheurs, la teneur en eau dans le gaz est alors réduite à moins de 0.5 ppm permettant d'éviter ainsi la formation de glace dans la section liquéfaction.

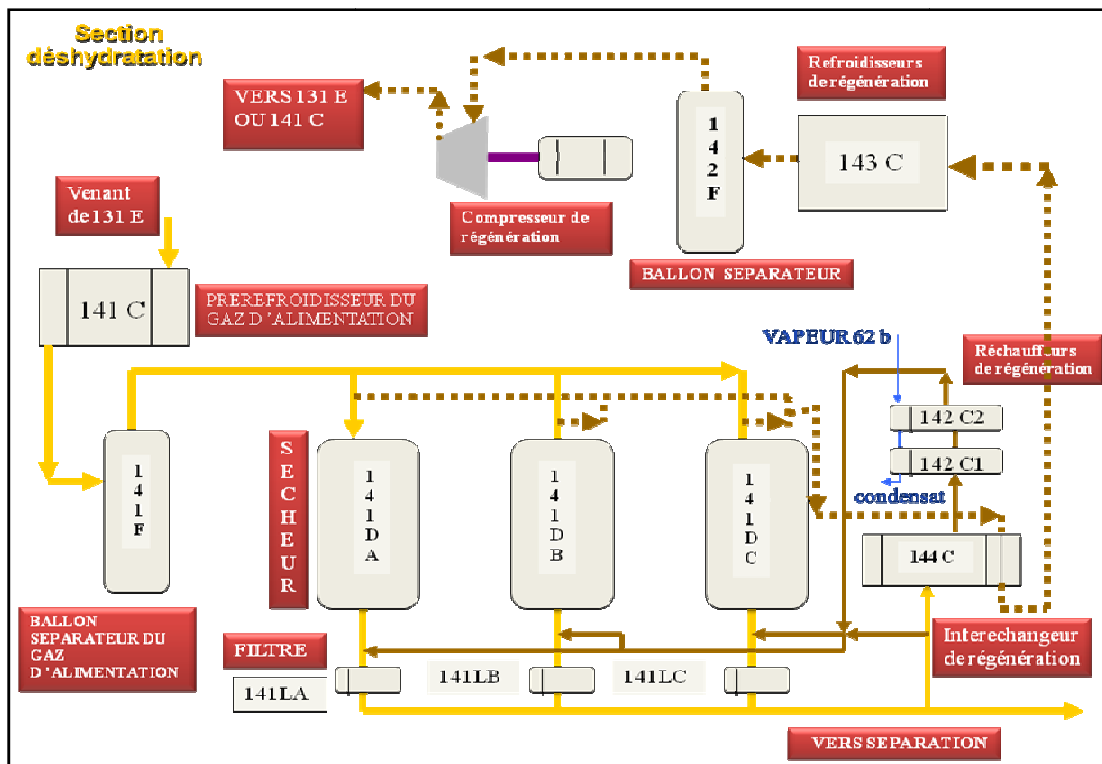


Figure IV-5: Schéma du procédé de la section de déshydratation du gaz [3]

Section de séparation

Le refroidissement du gaz naturel traité s'effectue par l'intermédiaire de quatre chillers sous refroidis par du propane atteignant ainsi une température -33°C .

Le passage du gaz dans l'inter-changeur permet un deuxième refroidissement jusqu'à une température de -47°C

Le gaz est ensuite injecté dans la tour de lavage au niveau du 10ème plateau, où les produits lourds sont séparés par distillation du gaz naturel (éthane, propane, butane,.....)

Section de liquéfaction

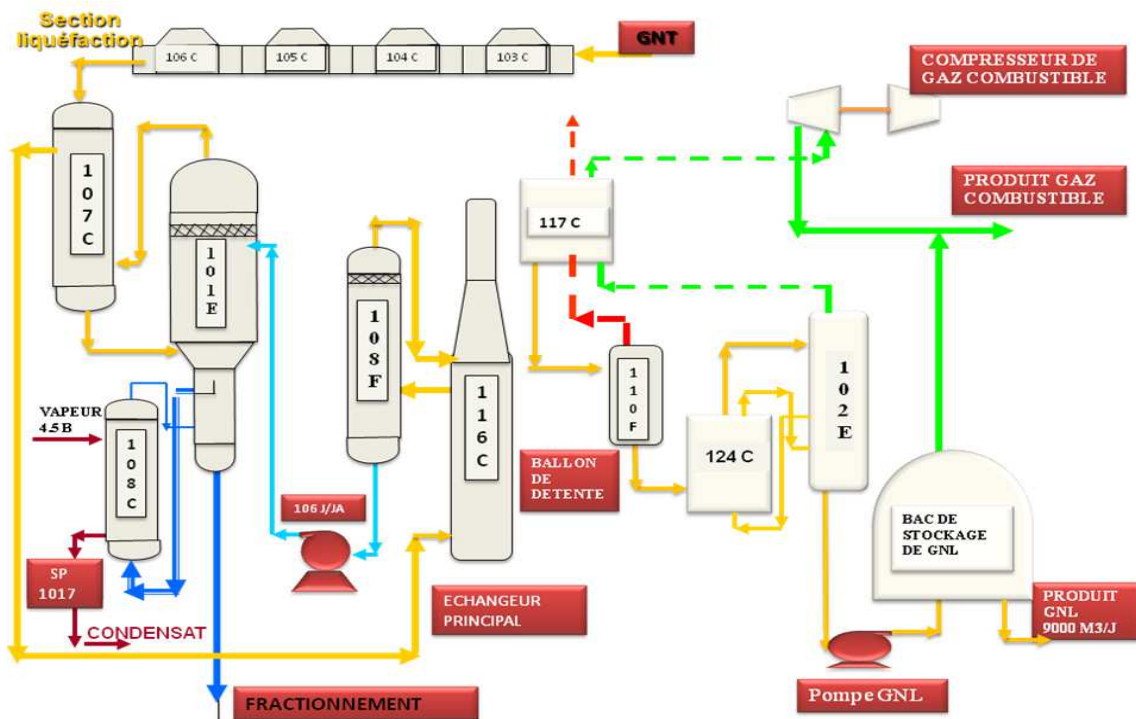


Figure V-6 : Schéma du procédé de la section de liquéfaction du gaz naturel du complexe GL2/Z

Cette section est basée sur 2 boucles principales qu'ils sont :

Boucle de propane

La boucle de propane est une boucle à quatre étages qui permet de refroidir le gaz naturel et le MCR (multi composants réfrigérant) par paliers successifs, le propane, après compression et condensation, subit quatre niveaux de détentes refroidissantes, lui permettant d'échanger ses frigories avec le MCR.

Boucle MCR

La boucle MCR constitue la deuxième boucle frigorigène de l'unité de liquéfaction. Le fluide frigorigène est un mélange d'azote, de méthane, éthane et de propane. Ce dernier

circule dans une boucle fermée à deux compresseurs MCR1 et MCR2 entraînés chacun par un turbine.

Le MCR sert à liquéfier le gaz naturel dans l'échangeur principal.

Constituant	Pourcentage moléculaire (%)
Azote	3-5
Méthane	42-45
Ethane	52-55
Propane	4-5
Butane	traces

Tableau IV-2 :Composition du MCR

Section de fractionnement

L'unité fractionnement est alimentée par les produits de fond de la tour de lavage situé en amont de l'échangeur principal, cette section est composée de trois colonnes :

Le dé-éthaniseur

Il permet d'extraire l'éthane en haut de la colonne pour être réinjecter dans le GNL, l'excès est utilisé comme combustible dans le système fuel gaz. Les produits de fond du dé - éthaniseur sont acheminés vers la colonne de dé - propanisation.

Le dé-propaniseur

Il constitue la 2ème tour de fractionnement. Son rôle est de produire le propane en tête de colonne et de l'acheminer en grande partie vers GP1Z pour y être commercialisé ou réinjecté dans le GNL,

L'autre partie sert comme appoint dans la boucle MCR et propane réfrigérant.

Les produits de fond sont acheminés vers la colonne de dé – butanisation.

Le dé-butaniseur

Il constitue la 3ème tour de fractionnement. Le produit de tête de colonne est du butane à (98.8%), « commercial » est envoyé vers GP1Z pour être commercialisé

Le produit de fond de la tour constitue la gazoline qui est envoyé vers stockage pour y être commercialisé.

Stockage & Expédition :

Stockage

La zone de stockage du GNL est située à l'extrémité de la mer. Facilitant son chargement au niveau des méthaniers. Cette zone comprend cinq (05) compresseurs Boil-Off. Trois (03) bacs de stockage du GNL. Dix (10) motopompes dont deux (02) pompes pour la circulation, cinq (05) pompes de chargement, une (01) pompe pour le transfert et deux (02) pompes de gaz Boil-Off, un ballon désurchauffeur et un (01) échangeur de chaleur.



Figure IV-7 La zone de stockage du

Le gaz naturel liquéfié quitte la zone de procédé vers la zone de stockage à une température de -160°C débite à raison de $398\text{ m}^3/\text{h}$ par train de procédé.

Le débit total transféré est en fonction du nombre de train en service, pour cela il existe deux (02) collecteurs de GNL. Un (01) collecteur d'admission et l'autre de distribution.

Chaque bac de stockage à une capacité de $100\,000\text{ m}^3$. Les trois (03) bacs fonctionnent selon le principe des vases communiquant.

Les vapeurs provenant de l'évaporation de GNL dans les bacs et celles produites pendant les opérations de chargement des méthaniers sont comprimées sous une pression de 3.6 bars puis envoyées vers le système de gaz combustible.

La vapeur d'eau 17.2 bars permet le réchauffage des vapeurs GNL de -48°C à 25°C dans l'échangeur a la sortie de l'échangeur, les vapeurs seront transférées aux utilités comme gaz combustible pour les chaudières.

Chargement

Les installations de chargement permettent le transfert du GNL contenu dans les bacs de stockage vers les cuves dans méthaniers. Les cinq motopompes effectuent le pompage du GNL et le refoulent à travers un collecteur commun



Figure IV-8 Les trains de liquéfaction

jusqu'aux quatre bars de chargement installés sur le quai. Ces bras sont articulés pour permettre le raccordement aux brides du navire avec une certaine liberté de ce dernier. Un cinquième bras est destiné à la collecte des vapeurs du méthanier lors de sa mise en froid et du chargement.

Les trains de liquéfaction GNL du complexe GL2Z ont été conçus pour fonctionner avec deux modes, avec et sans extraction, et selon la composition du GN d'alimentation (charge légère ou lourde).

4 Etude de la Sécurité du Complexe GL2/Z

Le département Sécurité, est un des points vitaux du complexe GL2/Z. où la sécurité humaine et industrielle reste primordiale.

Responsabilité de personnel du département sécurité :

- L'application des règles de sécurité pour éviter tout facteur de risque.
- L'organisation des mouvements de véhicules et de personnel à l'intérieur du complexe.
- Le contrôle des installations et la détermination des recommandations nécessaires.
- Prévenir les incidents et les accidents.
- Assurer la disponibilité des systèmes, équipements de sécurité et moyens d'intervention.
- Intervenir en cas d'accident/incident.
- Collaborer avec les différents départements afin de respecter les normes de sécurité.

Organigramme du Département Sécurité:

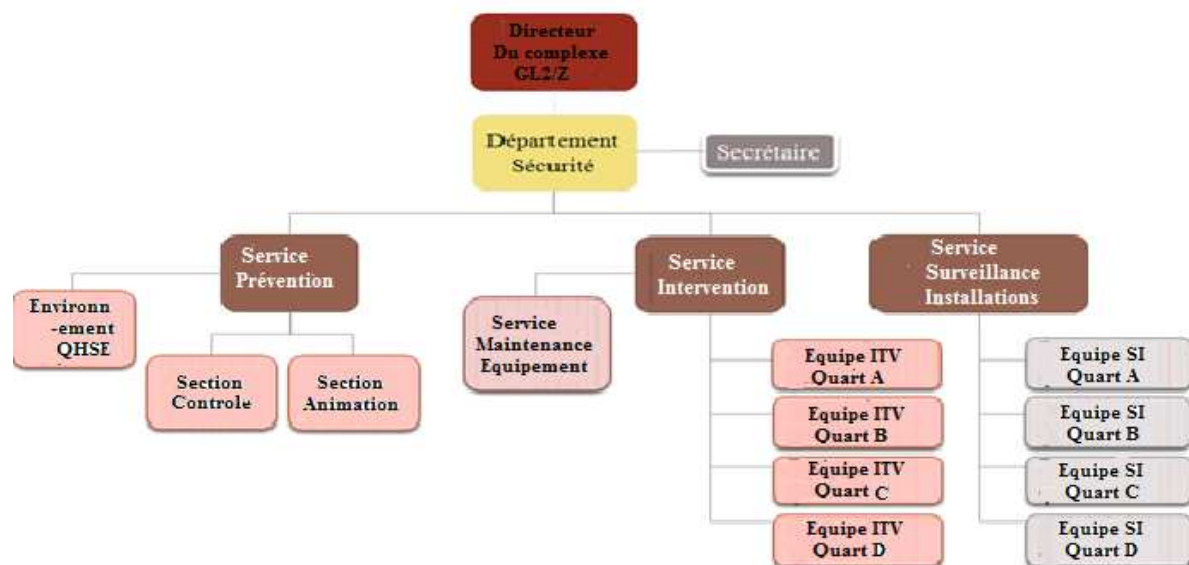


Figure IV-9 :Organigramme du département Sécurité

Service de prévention :

Sa tâche consiste à prévenir les accidents /incidents, initier le personnel aux règles de sécurité, il travaille en collaboration avec le département production et maintenance en assurant la sécurité des installations avant l'intervention des agents de maintenance. Il est scindé en deux sections :

Service d'intervention :

Elle est utilisée en dernier recoure, mais doit être présente et intervenir le plus rapidement et le plus efficacement possible sur tout incident qui survient dans le complexe quelle qu'en soit sa nature.

Service surveillance

Son rôle consiste à :

- Assister le service Prévention dans le contrôle des travaux,
- Effectuer des rondes afin de déceler toute anomalie,
- Veiller au respect des consignes de sécurité.
- Le contrôle des accès.
- L'identification du personnel.
- La surveillance périphérique du complexe.

Les moyennes préventives du complexe GL2/Z

Un personnel engagé, motivé et qualifié aidera l'entreprise à réaliser sa mission et ses objectifs. Le processus de recrutement débute par la définition de l'emploi, la recherche de candidats qualifiés, la sélection de la meilleure personne pour ce poste, et enfin l'orientation de cette personne pour son travail, Tel que plusieurs formations internes et externes sur les différents équipements du département et des séminaires sont assurés par le complexe GL2Z

Description du réseau eau d'incendie à GL2/Z

Le réseau d'eau incendie est un réseau bouclé maillé; ayant deux direction d'alimentation, et isolable par des vannes de sectionnements. Le système comporte, en cas d'incendie deux pompes principales la 2260 JA et la 2260 JA, l'une entraînée par moteur électrique et l'autre par moteur diesel. Chaque pompe a un débit de 2920 m³/h et une pression de 9 bars.

Les formations et les exercices

Les formations

La réponse à l'urgence efficace implique que tous les membres du personnel assurent leur rôle de manière appropriée. Il est donc indispensable que toutes les personnes se rendant sur des sites industriels ou dans des zones administratives comprennent le rôle qu'elles ont à jouer pendant une urgence.

Le complexe a pour cela mis en place des stages d'induction appropriés au personnel.

Il rappelle de façon aussi simple et claire que possible les informations, recommandations et mesures de sécurité préventives.

Les principales formations dispensées au personnel du service intervention sont citées ci-dessous :

- ✓ Exploitation des systèmes d'extinctions : des camions anti-incendie (à poudre, à mousse, à eau)
- ✓ sauvetage en hauteur
- ✓ risques chimiques, manutention, incendie et explosion
- ✓ Système permis de travail SPT
- ✓ Habilitation électrique
- ✓ Compresseur à CO₂
- ✓ Stationnaire sécurité DCS.
- ✓ Système anti-incendie fixe et mobile
- ✓ Formation PORT de L'ARI
- ✓ Compresseur à Air respirable
- ✓ Formation SYSPRO Intervention
- ✓ Formation filière ITV1, ITV2, ITV3, ITV4

Les exercices de l'équipe incendie :

- ✓ 4 exercices mensuels de simulation contre l'incendie à blanc,
- ✓ 1 exercice mensuel de simulation contre l'incendie sur feu réel
- ✓ 1 exercice mensuel de sauvetage en hauteur
- ✓ 4 exercices annuels sur les procédures de recherche et de sauvetage dans les bâtiments
- ✓ 1 exercice annuel de sauvetage de véhicule
- ✓ 1 exercice annuel de sauvetage en espace clos
- ✓ 1 exercice hebdomadaire de déploiement de camion d'incendie, accrochage de bornes d'incendie, pompes... etc (technique des établissements à l'eau)
- ✓ Participation aux exercices de rassemblement du site

Annexe 3-IV

Climatologie :

De manière générale, les zones côtière d'Algérie ont un climat tempéré, chaud en été et froid et pluvieux en hiver. En s'éloignant dans les terres, les étés sont plus chauds et secs et les pluies hivernales commencent en octobre. Les nuits sont fraîches sur la totalité de l'Algérie.

Les données météo (moyenne annuelle pour l'année 2008) de la station météorologique d'Arzew (zone portuaire) sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Mois	Précipitation en mm	Température moyenne °C	Humidité en %
Janvier	35.2	12.7	74
Février	37.1	13.4	74
Mars	18.9	15.4	73
Avril	24.4	16.9	71
Mai	20.9	19.8	73
Juin	1.4	23.2	74
Juillet	0.4	25.9	72
Aout	1.3	26.6	68
Septembre	22.5	24.3	67
Octobre	26.8	21.5	67
Novembre	86.5	16.3	67
Décembre	55.3	14	68

Tableau 1-IV: Données météorologiques station Arzew en 2008

La région d'Arzew est caractérisée par des précipitations irrégulières tout au long de l'année. Le mois le plus pluvieux est le mois de novembre et le plus sec celui de juillet. La saison des pluies s'étend d'octobre à février et la saison sèche de mars à septembre.

Les vents dans la région d'Arzew sont très persistants en hiver et la direction dominante du vent est le sud-ouest.

Stabilité de l'air

Classes de stabilités

La stabilité atmosphérique est souvent décrite à l'aide de l'échelle de Pasquill. On distingue ainsi 6 classes de stabilité allant des atmosphères très instables (A, B), aux atmosphères très stables (E, F), en passant par des atmosphères neutres (C, D).

Class	Stabilité	Commentaire
A	Très instable	Ensoleillé et vent faible
B	Instable	Semblable à A avec moins de soleil ou plus de vent
C	Modérément instable	Nuageux et assez venteux ou ensoleillé et vent faible
D	Neutre	Peu de soleil et vent fort ou temps couvert/nuit
E	Modérément stable	Semblable à D avec ciel moins couvert et nuit moins venteuse
F	Stable	Nuit avec ciel modérément nuageux et vent faible/modéré

Tableau 2-IV: Classes de stabilité atmosphérique

Les conditions de stabilité diffèrent selon le moment d'observation. Ainsi on choisira des classes de stabilité caractéristiques des jours et des nuits ainsi que de la saison (été ou hiver). D'où les catégories climatiques utilisées sont comme suite

Conditions atmosphériques

Pour simuler les conséquences d'un accident majeur sur le site de GL2z, quatre conditions météorologiques représentatives du climat général ont été définies d'après les données fournies «Données météorologiques».

Condition s	Vitesse de vent(m/s)	Stabilité de l'air
JourEté	6	C
JourHive	4	B
NuitEté	3	D
NuitHive	2	F

Tableau 3-IV: Conditions atmosphériques pour simulation

Seuils de référence pour les effets thermiques

Les seuils thermiques suivants seront utilisés pour quantifier et mesurer les effets d'un accident majeur sur l'homme et les effets dominos possibles sur les structures:

Seuils pour les effets sur l'homme	
Seuils	Justifications
2,5Kw/m ²	L'accident peut affecter des personnes sensibles ou non averties
6,4Kw/m ²	Conséquences graves, directes ou indirectes, immédiate ou à long terme
10Kw/m ²	1% de fatalité après 20s pour des personnes non protégées

Tableau 4-IV: Seuils thermiques des effets sur l'homme

Les seuils d'exposition pour les effets thermiques sur l'homme ont été déterminés en considérant une exposition de 20 secondes.

Seuils de référence pour les effets de surpression

Nous utiliserons les seuils de surpression suivants pour quantifier et discuter des effets d'un accident majeur sur l'homme et les effets dominos possibles sur les bâtiments:

Seuils pour les effets sur l'homme	
Seuils	Justifications
25mbar	Dommmages graves
50mbar	Dommmages irréversibles ou létaux

Tableau 5-IV: Seuils de surpression des effets sur l'homme

Bibliographie

SITE WEB

- 1.Méthodologie d'analyse de risques Disponible sur http://www.unit.eu/cours/cyberisques/etage_3_aurelie/co/
- 2.QRA and risk analysis software Phast and Safeti Disponible sur <https://www.dnvgl.com/services/process-hazard-analysis-software-phast-1675>
- 3.Comte G. Méthodologie d'analyse de risques. Disponible sur <http://www.qse-france.com> .
- 4.INERIS. Outils d'analyse des risques générés par une installation industrielle [en ligne]. INERIS,. Disponible sur : <http://www.ineris.fr>.
- 5.<http://www.Istock.com>

OUVRAGE

- 1.Alain Desroches - Alain Leroy Frédérique Vallée
La gestion des risques 3e édition Lavoisier
2. Zwingelstein G. La maintenance basée sur la fiabilité. Paris : Hermès,
3. Mortureux Y. Arbres de défaillance, des causes et d'événements : Techniques de l'ingénieur. Paris 2002.
4. Wise Global Training Ltd-Introduction to Oil and Gas Operational Safety for the NEBOSH International Technical Certificate in Oil and Gas Operational Safety-Routledge (2015)
5. P. Lagadec 2002, Traité des nouveaux risques, éditions Gallimard
6. Mortureux Y. La sûreté de fonctionnement : méthodes pour maîtriser les risques. In : Techniques de l'Ingénieur. Paris : 2005,
7. Mucchielli A. Les méthodes qualitatives. Que sais-je ?. Paris : Presses Universitaires de France,
8. IEC. Etudes de danger et d'exploitabilité (études HAZOP) - Guide d'application. IEC 61882, 2001,
9. AFNOR. Techniques d'analyse de la fiabilité des systèmes - Procédures d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE). NF X60-510, .
- 10.Faucher J. Pratique de l'AMDEC. Paris : DUNOD, 2004,
11. IEC. Techniques d'analyse de la fiabilité des systèmes – procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE). IEC 60812
12. NF EN 60812 Août 2006.. Techniques d'analyses de la fiabilité du système - Procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE). EN 60812
13. Talon A. Evaluation des scénarii de dégradation des produits de construction. Thèse Génie Civil. Clermont-Ferrand : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment – division Environnement, Produits et Ouvrages Durables 2006