

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Thèse de Magister
En Sciences des Risques et Matériaux

ETUDE DES RISQUES LIES AU BAC SOUTERRAIN DU COMPLEXE GNL4Z

Présentée par

AMEUR SOUMIA

Le 17 / 03 / 2009

Devant les membres de jury

M. SEBBANI	Président	Professeur Université D'Oran
Z. LOUNIS	Examineur	Maitre de conférences Université D'Oran
A. BOURAHLA	Examineur	Maitre de conférences MOSTAGANEM
N. HASSINI	Directeur De Thèse	Maitre de conférences Université D'Oran

Année Universitaire 2008-2009

Table des matières

Table des matières.....	I
Liste des tableaux.....	II
Liste des figures.....	III
Introduction	01
Problématique	04
Chapitre I Etude du bac souterrain.....	06
1.1 Présentation du complexe.....	06
1.2 Les principales installations du complexe.....	06
1.3 Typologie du stockage souterrain.....	08
1.4 Les avantages du stockage souterrain.....	09
1.5 Comparaison des réservoirs de stockage hors sol et souterrain.....	09
1.6 Les différentes techniques de stockage souterrain.....	10
1.6.1 Stockage souterrain en cavité lessivée.....	10
1.6.2 Stockage souterrain en cavité minée.....	11
1.6.3 Stockage souterrain en mines abandonnés.....	11
1.6.4 Stockage souterrain en nappes aquifères.....	11
1.6.5 Stockage semi enterré en sol gelé.....	11
1.7 L'étude de bac.....	12
1.7.1 Description du bac semi enterré en sol gelé.....	12
1.7.2 Technique de construction.....	13
1.7.3 L'historique du bac et les problèmes rencontrés lors de l'exploitation.....	14
1.8 Les risques liés aux problèmes d'exploitation.....	18
1.8.1 le risque incendie-explosion.....	18
1.9 Conclusion.....	19
Chapitre II La mise hors service des réservoirs souterrains.....	20
2-1 Introduction.....	20
2-2 Les risques potentiels liés à la mise hors service des réservoirs souterrains....	20
2.3 Planification de la mise hors des réservoirs souterrains.....	21
2.4 Procédure de mise hors service du bac.....	22
2.5 Conclusion.....	26
Chapitre III La réglementation.....	27
3.1 Introduction.....	27
3.2 Evaluation de la réglementation Algérienne.....	27
3.3 Réglementation européenne Seveso.....	28
3.3.1 cadre réglementaire de la prévention.....	28
3.3.2 Les directives européennes.....	28
Chapitre IV Gestion et analyse des risques.....	29
4.1 Introduction.....	29
4.2 Principaux outils d'analyses des risques.....	29
4.2.1 Analyse préliminaire des risques.....	30
4.2.2 Analyse Hazop.....	30
4.2.3 Analyse des modes de défaillance AMDEC.....	31
4.2.4 Arbre des causes.....	32

4.2.4 la méthode MADS MOSAR.....	33
4.3 Conclusion	38
4.4 Retour d'expérience	39
4.4.1 Analyse statistique générale.....	39
4.4.2 Retour d'expérience au niveau mondial.....	40
4.4.3 Conclusion	46
4.5 Application de la méthode MADS MOSAR.....	47
4.5.1 Décomposition des systèmes	51
4.5.2 Identification des sources de danger.....	51
4.5.3 Identification des scénarios de danger	56
4.5.4 Construction des arbres de cause.....	62
4.5.5 Négociation des objectifs et hiérarchisation des scénarios.....	66
4.5.5.1 Définition des niveaux de probabilité et de gravité.....	66
4.5.6 Définition des moyens de prévention et de protection	69
4.5.7 Qualification des moyens de prévention.....	74
4.5.8 Conclusion.....	76
Chapitre V Le risque résiduel	77
5.1 Introduction	77
5.2 Les déformations structurelles de la roche lors de l'exploitation	77
5.3 Les déformations structurelles de la roche après la mise hors service	80
5.4 Les risques liés aux glissements de terrains	82
5.4.1 Retour d'expérience des accidents dûs à un mouvement de terrain.....	82
5.4.1.1 Conclusion	86
5.5 Les conséquences engendrées par un affaissement et recommandation	86
5.6 Etude d'impact environnementale	87
5.6.1 Pollution du sous sol et des eaux souterraines	87
5.6.2 Données de toxicologie générale pour l'hydrure de sulfure	88
5.6.3 Diagnostic des sites pollués.....	89
5.6.4 Les prélèvements	89
5.6.4.1 Prélèvements de sol	90
5.6.4.2 Prélèvements de gaz du sol	90
5.6.4.3 Prélèvements d'eau souterraine.....	90
5.6.5 Conclusion.....	90
Conclusion générale.....	91
Références bibliographiques	93
Annexes	95

LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux

Tableau I-1	Comparaison des réservoirs de stockage hors sol et souterrain	10
Tableau IV-1	Les événements dans les arbres de causes	33
Tableau IV-2	Comparaison d'outils d'identification des risques	37
Tableau IV-3	historique des accidents majeurs liés au stockage souterrain	46
Tableau IV-4	Identification des sources de danger du sous système 1	52
Tableau IV-5	Identification des sources de danger sous système 2	53
Tableau IV-6	Identification des sources de danger sous système 3	54
Tableau IV-7	Identification des sources de danger sous système 4	55
Tableau IV-8	Définition de la probabilité de l'événement indésirable	66
Tableau IV-9	Définition des conséquences de l'événement indésirable	67
Tableau IV-10	Identification des barrières	69
Tableau IV- 11	Identification des barrières	70
Tableau IV-12	Identification des barrières	71
Tableau IV- 13	Identification des barrières	72
Tableau IV- 14	Identification des barrières	73
Tableau IV-15	Qualification des barrières identifiées	74
Tableau V-1	La coupe géologique du bac	80
Tableau V-2	historique des accidents majeurs dus aux mouvements de terrain	82
Tableau VI-3	Récapitulatif des effets de l'hydrogène sulfuré sur l'homme	88

LISTE DES FIGURES

Liste des figures

Fig. I-1	Complexe GL4/Z plan de mouvement	07
Fig. I-2	Description du bac en excavation T5101	12
Fig. I-3	Description du bac en excavation T5101 associés aux pipes	13
Fig. I-4	Fissures autour du bac	15
Fig. I-5	Fuite de GNL au niveau du thermocouple	15
Fig. I-6	L'écaillage du béton	15
Fig. I-7	Des fissures horizontales	15
Fig. I-8	Réseau d'auscultation	16
Fig. I-9	L'évolution au voisinage du bac	17
Fig. I-10	Le déplacement altimétrique	17
Fig. I-11	Le déplacement planimétrique	18
Fig. IV-1	Le modèle de référence : le processus de danger	34
Fig. IV-2	La structure de MADS MOSAR	35
Fig. IV-3	Décomposition du système en sous-système	51
Fig. IV-4	Scénario 1 du sous-système bac enterré	58
Fig. IV-5	Scénario 2 du sous-système bac enterré	59
Fig. IV-6	Scénario 3 du sous-système canalisation	59
Fig. IV-7	Scénario 4 du sous-système canalisation	60
Fig. IV-8	Scénario 5 du sous-système operateur	60
Fig. IV-9	Scénarios long n°1 Effondrement + Explosion	61
Fig. IV-10	Scénarios long n°2 incendie + Explosion	62
Fig. IV-11	Arbre des causes d'une fuite	63
Fig. IV-12	Arbre de cause d'un incendie	64
Fig. IV-13	Arbre de cause d'une explosion	65

Fig. IV-14	Grille de criticité	68
Fig. IV-15	Situation des scénarios avant la mise des barrières de prévention	68
Fig. IV-16	Situation des scénarios après la mise en place des barrières de prévention	75
Fig. V-1	Simulation des mouvements d'eau souterraine	78
Fig. V-2	Coupe géologique du bac	79

Introduction

L'objectif de cette recherche est de proposer une méthodologie d'analyse des risques permettant une gestion des risques globale, le champ d'application de mon étude porte sur le démantèlement d'un réservoir de stockage souterrain de gaz naturel situé au complexe GL4 /Z Arzew.

Le contexte ayant motivé ma recherche s'articule sur deux points :

- l'occurrence des récents accidents majeurs survenus dans le domaine pétrolier à l'échelle nationale, tel que l'accident de GP2/Z à Arzew en novembre 2003, GL1/K en janvier 2004 ou encore le terminal de Skikda en octobre 2004, est une preuve que le risque est omniprésent et nécessite une préoccupation continue et particulières basée sur la maîtrise des processus de prévention et de protection.

Aussi l'évolution marquée par les exigences des autorités avec l'apport des lois et les directives, obligeant les exploitant à mettre en place des mesures d'organisation, regroupées au sein du système de gestion de la sécurité, ainsi que l'intégration de la population dans la prise des décision et par le droit de l'information.

Le risque est ainsi au cœur de l'actualité, la maîtrise des risques est indispensable au développement des entreprises, face à ces changements, il est nécessaire d'intégrer la gestion des risques aux processus opérationnels de l'entreprise du point de vue technique, économique, réglementaire et politique.

Ma démarche s'appuie sur l'usage des outils d'aide à la décision issus de la sûreté de fonctionnement et l'analyse des risques proprement dits. Elles ont pour but de diminuer la probabilité d'occurrence ou bien les conséquences d'un événement indésirable susceptible d'avoir un impact négatif sur le matériel ou l'installation, l'environnement ou les individus. Les concepts cyndiniques reposent sur une approche qui, s'appuyant sur la complexité et la systémique, permet d'élargir les champs des recherches en proposant une modélisation du danger. Cette approche novatrice n'a pas vocation à remplacer les méthodologies analytiques existantes mais de les enrichir.

L'analyse des risques doit être sur toutes les conditions opératoires rencontrées (conditions normales, phases transitoires, phases d'arrêt et de démarrage.....).

Ainsi le mémoire présenté comporte, après une introduction, la problématique, et cinq chapitres répartis comme suit :

Dans le Chapitre 1 nous faisons un recensement des principales techniques du stockage souterrain avec une description sommaire et rapide de chacune de ces techniques, description détaillée du bac souterrain, des problèmes rencontrés lors de son exploitation et les différents risques encourus par ces dégradations.

Dans le Chapitre 2 nous exposons la démarche globale à suivre pour la mise hors service d'un système de stockage souterrain et présente la procédure de mise hors service adapté a l'installation (bac souterrain) proposé par PSN (Production Services Network) fournisseur international de services de pétrole et de gaz et mettre en évidence les risques liés à la mise hors service du bac.

Le Chapitre 3 évoque le cadre réglementaire algérien et européen concernant l'application des lois et les directives relative au projet de démantèlement du bac concernant la gestion des risques.

Dans le Chapitre 4 les processus d'analyse et de gestion des risques sont présentés. Il est organisé en deux parties. La première partie décrit les principales méthodes d'analyse des risques techniques et une description détaillée de la méthode organisée systémique d'analyse de risque (MOSAR). La seconde partie présente l'application de la méthode MADS MOSAR, les résultats obtenus seront utilisés pour l'évaluation du niveau des risques et la définition des moyens de prévention et de protection

Le Chapitre 5, fruit de nos réflexions, consiste à identifier les risques post démantèlement, expliquer les causes et suggérer des solutions pour réduire la probabilité d'occurrence et la gravité des conséquences de ces risques.

En dernier lieu une conclusion sur l'apport de notre recherche, suggérer des propositions et des recommandations pour l'étude et le choix d'un site destiné pour stockage souterrain, montrer l'importance de l'étude géologiques des sites et la disponibilités des moyens géophysique pour surveiller l'évolution du sol avant

d'entamer un projet de réalisation d'un réservoir de stockage souterrain pour prédire les risques probables.

PROBLEMATIQUE :

Les stockages souterrains ont pour mission de garantir la continuité de fourniture et de permettre de répondre à des conditions climatiques extrêmes.

Le bac souterrain situé au complexe GL4/Z, employé pour stockage du GNL à -161°C , d'une capacité de 38000 m^3 . Construit par power engineers sous traitant de Technip et mis en exploitation depuis 1965.

Constitué d'une excavation en terre gelée, technique élaborée par la société « CONCH ». Le bac est couvert par un toit en alliage d'aluminium suspendu à des profilés en charpente métallique qui s'appuie sur une couronne en acier au carbone, montée sur 60 poteaux en béton armé qui prennent appuis sur une couronne en béton. Les caractéristiques principales de ce type de stockage est l'absence d'isolation et de barrières d'étanchéité sur les parois verticales et le fond.

Plusieurs expertises ont été faites lors de son exploitation afin de déterminer l'état général du bac. Elles avaient pour objectives de prolonger sa durée de vie en réalisant des travaux de réhabilitations. En 2002 l'expertise effectuée a montrée d'énormes dégradations au niveau des structures et surtout au niveau du sol, de larges fissures ont été observés a cause de la propagation du gel en sous sol, plusieurs fuites ont été détecter malgré les travaux de maintenance et d'entretiens et qui pouvaient engendrés de grave accidents majeurs en plus du soulèvement constant du bac confirmé par les moyens de surveillance topographique GPS (Global Positioning System) effectués par le centre national des techniques spatiaux (CNTS).

La mise hors service du bac a été décidée en mai 2006 pour des raisons évidentes de sécurité. Pour une mise hors service sécurisée, il faut vider le système de stockage, retirer les vapeurs et éliminer toute source d'inflammation.

Les principaux risques liés au démantèlement du bac sont :

1. dû à la manipulation du produit inflammable qui est le GNL, son relâchement peut provoquer un feu d'éclair ou bien une explosion.
2. les risques liés a la qualité de l'ouvrage, la fragilité des matériaux constituant le bac comme les canalisations, les tuyauteries, le toit du bac et les supports en bétons leurs ruptures peuvent provoquer de grave accidents, ainsi que le

dysfonctionnement des organes de sécurité (vannes, soupape, système de refroidissement, jaugeetc.) peuvent conduire a une augmentation de la pression interne et donc le risque de l'éclatement du bac ou de la canalisation.

3. lors de la phase de vidange, certaines opérations effectuées nécessitent des procédures et une organisation particulières comme les travaux de raccordements ou de déviation du réseau existant, l'isolement des tronçons à l'aide des événements, la découpe ou la dépose de canalisation dont les travaux nécessitent l'élimination. Le risque principal encouru par ces travaux est l'inflammation du panache de gaz avec ses conséquences thermiques.
4. les risques lors des opérations de purges à l'azote qui implique le remplacement de l'air à l'intérieur du bac par un gaz inerte sont l'asphyxie en cas où les opérateurs se trouvent près des points d'injections et les brûlures cryogéniques en cas de fuite ou de morsures causées par le contact avec ces liquides ou la tuyauterie froide.
5. le risque encouru par le réchauffement non contrôlé du bac qui peut provoquer le dégel et l'éboulement des parois.

L'objectif de cette étude est d'identifier les risques en utilisant les méthodes d'analyse de risque appropriés, définir les scénarios d'accidents, estimer les conséquences et les fréquences. Réduire ces risques à un niveau acceptable et mettre des barrières de protection et de prévention pour éviter l'apparition d'un événement redoutable.

1.1 Présentation du complexe GL4/Z

Le complexe GL4/Z se situe en zone industrielle près de la ville d'Arzew, limité à l'est par la mer méditerranée, au nord et l'ouest par la ville d'Arzew et au sud par la zone industrielle.

L'usine est située à 40 Km d'Oran, sur une superficie de 75 Ha. L'objectif de cette usine est de liquéfier le gaz naturel de HASSI R'MEL pour permettre son transport sous forme liquide à pression atmosphérique et à une température de -161°C puis transporter dans des navires citernes spécialement aménagés appelés méthanier.

L'usine a été inaugurée officiellement Le 27 septembre 1964, l'engineering a été assuré par la compagnie française d'étude et de construction « Technip » associée à « Pritchard international corporation » et la Société Générale d'Exploitation Industrielle « SOGEI ».

1.2 Les principales installations du complexe

Le complexe GL/4 Z est constitué d'un ensemble d'installations :

- Trois lignes de liquéfaction, parallèles et identiques produisant $8250\text{ m}^3/\text{jour}$ de GNL.
- Des unités périphériques nécessaires pour leur fonctionnement, à savoir :
 1. unité de fabrication des fluides frigorigènes.
 2. Réseau de pompage d'eau de mer de réfrigération
 3. Centrale énergétique fournissant de la vapeur nécessaire à l'entraînement des compresseurs des lignes de liquéfaction.
 4. Transformateur d'énergie électrique consommée par l'usine.

Le terminal méthanier du complexe Sonatrach GL4/Z d'Arzew a une capacité de stockage de 73000 m^3 de GNL. Il se compose de trois réservoirs à double paroi métallique d'une capacité de $11\ 000\text{ m}^3$ chacune et un réservoir souterrain en sol gelé d'une capacité de 40.000 m^3 . L'appontement méthanier constitué par les installations qui le desservent permet de changer des méthaniers de 25000 à 40000 m^3 de capacité.

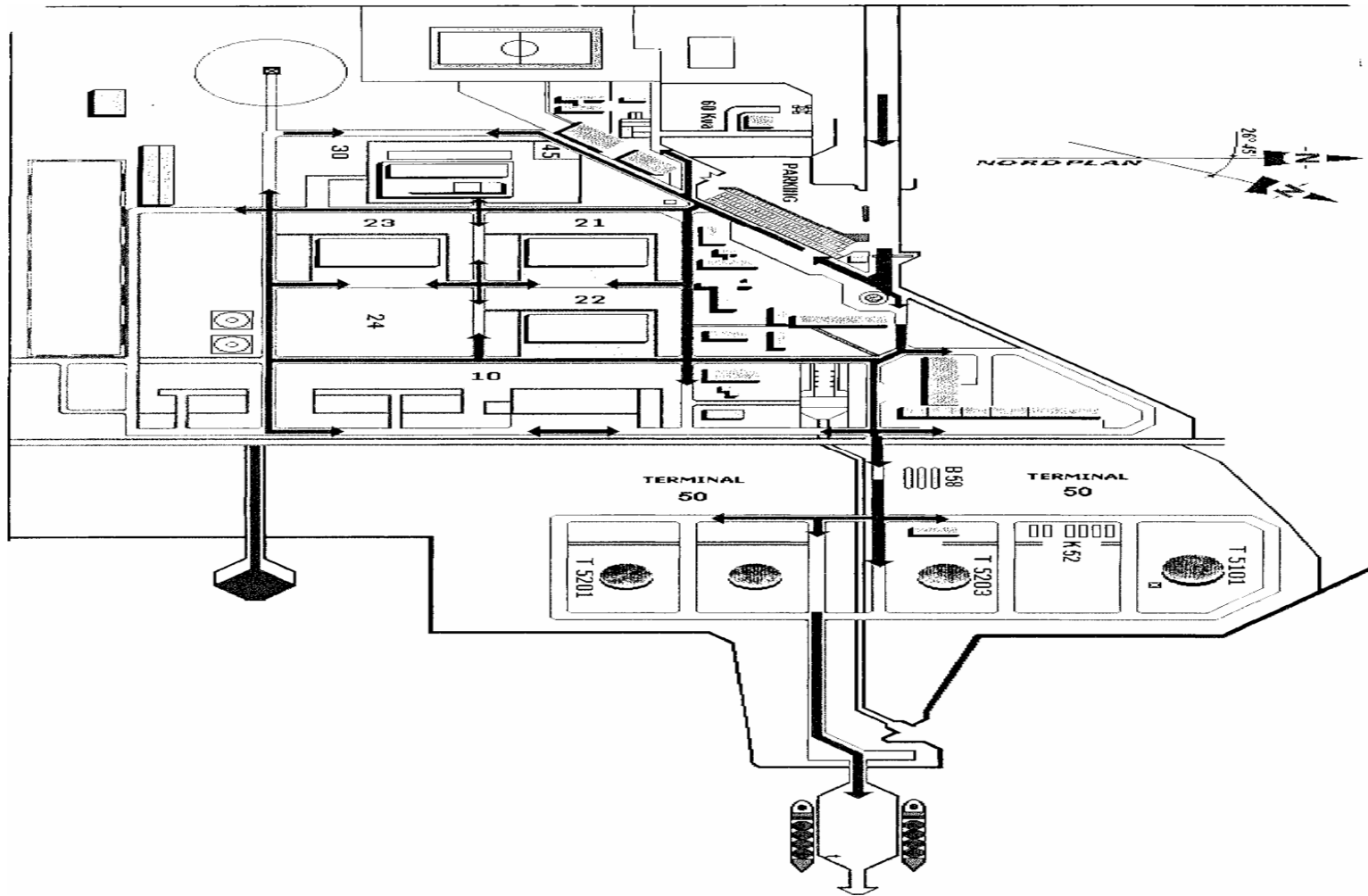


Fig. I-1 Complexe GL4/Z plan de mouvement

1.3 Typologie du stockage souterrain

Introduction :

Le Stockage du gaz naturel (GN) est un maillon essentiel de la chaîne gazière, il permet la modulation entre approvisionnement relativement constant au cours de l'année et les besoins en G.N qui varient fortement au cours de l'année suivant les saisons, il permet aussi la sécurité et l'approvisionnement en cas de défaillance technique ou politique des fournisseurs de G N. Ces stockages sont indispensables pour assurer la distribution du GN au grand public.

Le stockage permet de pallier aux aléas de l'offre et de la demande, largement utilisé depuis les années 50 par les pays industrialisés fortement consommateurs d'hydrocarbures, le stockage souterrain est encore trop souvent méconnu quand à ses techniques et ses avantages incontestables qu'il présente face au stockage conventionnel [8].

Les gaz liquéfiés sont stockés en fonction de leurs tensions de vapeur ce qui conduit à trois types de stockage :

1. Stockage sous pression où les gaz liquéfiés sont stockés en température ambiante (cas du propane).
2. Stockage réfrigéré sous pression où les gaz liquéfiés sont stockés à température voisine ou inférieure à 0°C, cela permet une réduction importante de la pression de stockage dans le cas de produits volatils. Ces stockages réfrigérés sont utilisés dans le cas de gaz liquéfiés présentant des températures critiques basses d'où des risques de polymérisation et d'instabilité chimique à chaud (exemple : propène à 0°C et à pression $P= 4.8$ bars) [4].
3. Stockage cryogénique pour les gaz incondensables à température ambiante, la pression est légèrement supérieure à la pression atmosphérique, la température est voisine de la température d'ébullition du produit (exemple : l'éthylène à - 103°C et à pression $P=45$ mbar).

1.4 Les avantages du stockage souterrain

Les gaz liquéfiés sont stockés dans des cavités creusées dans la roche (calcaire; craie...) à partir d'une centrale ou d'une rampe d'accès. La profondeur de stockage est telle que la pression hydrostatique ¹créée par l'eau assurant l'étanchéité est supérieure à la tension de vapeur du gaz liquéfié. Comparativement aux stockages conventionnels, les avantages sont nombreux et en particulier sur trois points essentiels ; la sécurité, la protection de l'environnement et l'économie :

➤ La Sécurité :

Le produit stocké, profondément enfoui dans le sol est isolé et ne peut être atteint ni par des actes de malveillance, ni par des phénomènes naturels. Les cavités en absence de fuite et d'oxygène sont à l'abri des risques d'explosion et d'incendies et les têtes des puits sont protégés.

➤ L'économie :

Le coût au mètre cube est moins élevé dans la plupart des cas relativement au conventionnel, la longévité des cavités, théoriquement sans limite, dépasse de loin celle des stockages aériens, l'entretien est limité à l'équipement extérieur.

➤ l'environnement :

La neutralité au produit stocké qui doit se retrouver identique à lui même une fois remis à son utilisateur. Sa stabilité à long terme, son étanchéité pour prévenir toute pollution des nappes et terrains environnants [8].

1.5 Comparaison des réservoirs de stockage hors sol et souterrains

Avant 1980 les réservoirs devaient tous être souterrains à cause des risques d'incendie liés au stockage des liquides inflammables. Les directives recommandent maintenant l'installation de réservoirs hors sol. Ils sont maintenant beaucoup plus courants que les réservoirs de stockage souterrains. Plusieurs facteurs influent sur l'utilisation croissante des réservoirs de stockage hors sol. Le Tableau I-1 résume les avantages et les inconvénients de chaque type de stockage. Il est facile de vérifier les

¹La pression hydrostatique est une pression due au poids de la masse de fluide sur la surface considérée.

réservoirs de stockage hors sol pour voir s'ils fuient ou s'ils sont corrodés, ce qui permet des interventions plus rapides et plus efficaces. Dans la majorité des cas, le coût d'ensemble d'un réservoir de stockage hors sol est inférieur à celui d'un réservoir de stockage souterrain à cause des coûts d'installations plus basses [14].

Système	Avantages	Inconvénients
Hors sol	<p>Possibilité de vérification visuelle du système pour la détection des fuites ou de la corrosion</p> <p>Permettent ainsi une intervention efficace.</p> <p>réparation rapide et moins coûteuse</p> <p>Excavation minimale requise</p> <p>Installation légèrement moins coûteuse</p>	<p>Plus grands risques d'incendie</p> <p>Peut exiger un système de récupération des vapeurs</p> <p>Plus de risque de vandalisme ou de collision par un véhicule</p> <p>Peut être inesthétique</p> <p>Prend de l'espace au sol</p> <p>Réservoirs exposés aux intempéries, pouvant causer une usure supplémentaire</p> <p>Réservoirs exposés aux variations de pression et de température</p>
souterrain	<p>Ne nécessite aucun espace en surface</p> <p>Ne pose pas de problème d'apparence</p> <p>Réservoirs protégés des intempéries</p> <p>Faibles risques d'incendie</p> <p>Ne nécessite pas de contrôle des émissions de composés organiques volatils</p>	<p>Réparation plus difficiles et coûteuses.</p> <p>Possibilités d'émissions et de corrosion non détectées</p> <p>Excavation importante requise lors de l'installation</p> <p>Risques de corrosion plus élevés pour les réservoirs en acier</p>

Tableau I-1 Comparaison des réservoirs de stockage hors sol et souterrains

1.6 Les différentes techniques de stockage souterrain :

Les techniques de stockage souterrain ont été largement développées depuis les années 50 et particulièrement appliquées au stockage d'importants volumes d'hydrocarbures, parmi ces techniques on cite :

1.6.1 Stockage souterrain en cavité lessivée

Elle est obtenue par injection d'eau douce ou légèrement salée dans une couche de sel dissout progressivement, cette opération s'effectue à l'aide d'un forage de type pétrolier par l'intermédiaire de deux tubes concentriques. Le choix du procédé de lessivage direct ou inverse est déterminé par la forme souhaitée de la

cavité et son utilisation future. L'exploitation se fait par mouvements de saumure par les hydrocarbures liquides ou liquéfiés pour le gaz naturel ou l'air comprimé [8].

1.6.2 Stockage souterrain en cavité minée

Une cavité minée est un ouvrage souterrain stable et étanche composé d'une ou plusieurs galeries creusées à partir d'un puit d'accès, d'un tunnel ou d'une descenderie à une profondeur qui garantit le confinement du produit stocké. Son domaine d'application en plus du stockage des produits pétroliers, s'applique aux déchets, et aux produits dangereux [8].

1.6.3 Stockage souterrain en mines abandonnés

Les cavités vides créées par l'exploitation de mines ou de carrières souterraines peuvent être aménagées en stockage à condition de répondre à de stricts critères d'étanchéité et de stabilités [8].

1.6.4 Stockage souterrain en nappes aquifères

Les pores d'une roche, pour autant qu'ils soient en communication entre eux (perméabilité) constituent un réservoir dans lequel il est possible de stocker du gaz en déplaçant l'eau de formation qui sature la roche (aquifères) par l'injection ou le soutirage du gaz [8].

1.6.5 Stockage semi enterré en sol gelée :

Constituée d'une excavation de grande diamètre (40-50m) et de faible profondeur (environ 30m) couverte par un toit métallique, cette technique a été appliquée dans une vingtaine de projets principalement aux USA.

1-7 ETUDE DU BAC

1.7.1 Description du bac semi enterré en sol gelé :

L'installation et la mise en service de ce bac en excavation ont été effectuées par « Technip Pritchard ». Le réservoir du GNL en sol gelé de l'usine Sonatrach GNL4 d'Arzew a été mis en service en 1964, constitué d'une excavation de 37.18 m de diamètre et d'une profondeur de 36 mètre (figure I-2). Il se situe à 100 mètre du bord de la mer. Couvert par un toit plat en alliage d'aluminium suspendu à une charpente externe en acier au carbone, ce toit est lesté par des blocs de béton armé pour l'équilibre de la pression interne du gaz. Il a une capacité d'environ 38000m³ de gaz naturel

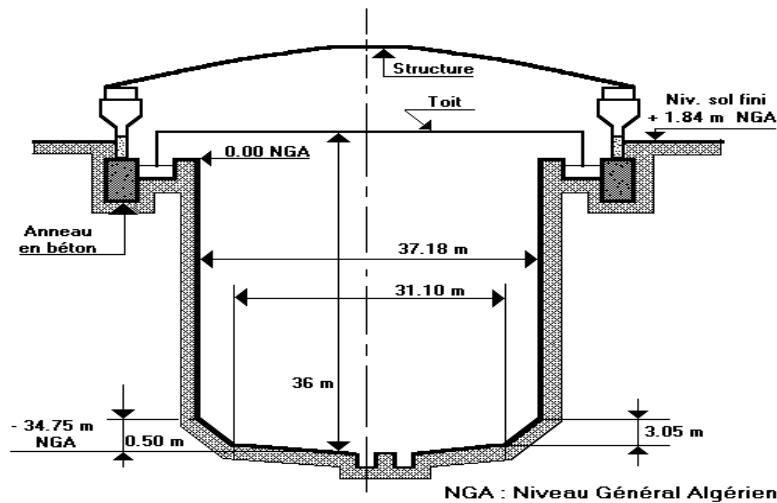


Fig. I-2 Description du bac en excavation T5101

La partie supérieure de la paroi du réservoir est renforcée sur 4 mètre environ par une virole en béton sur laquelle, s'appuie la charpente métallique. Des thermocouples au nombre de 48 sont installés à différentes profondeurs et distances du réservoir (16 thermocouple tous les 120°) pour permettre le contrôle de la propagation des isothermes -100°C, -50°C, 0°C.

Ce réservoir est équipé de 02 pompes immergées (figure I-3) ayant un débit de l'ordre de 1200 m³. Le gaz de boil-off du réservoir est repris par des compresseurs et envoyé à la centrale énergétique du complexe pour être brûlé dans les chaudières.

L'excédant de ce gaz est torché vers l'atmosphère par l'intermédiaire d'une torche froide située à proximité du réservoir.

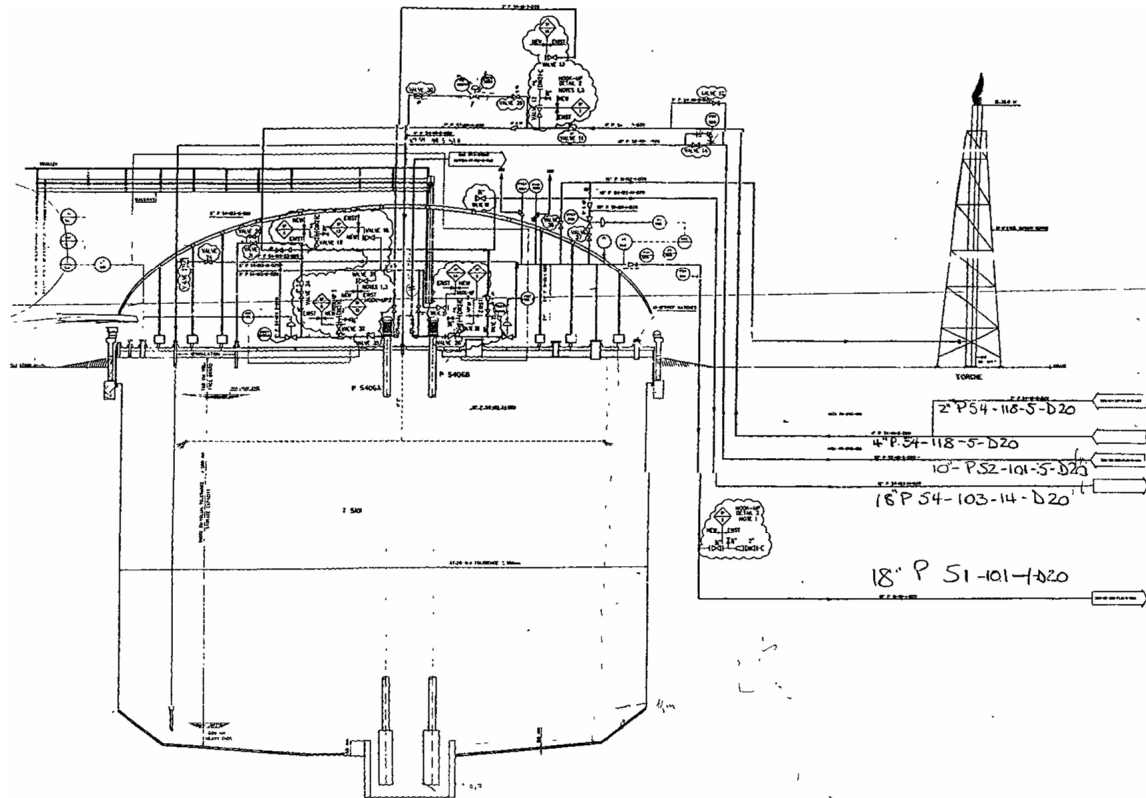


Fig. I-3 Description du bac en excavation T5101 associé aux pipes

1.7.2 Technique de construction

Le principe de cette technique élaboré par la compagnie CONCH consiste à une mise en froid par l'azote liquide (-196°C) de la cavité souterraine au travers de tubes convenablement disposés, puis à creuser dans le terrain gelé un réservoir cylindrique. L'excavation est fermée à sa partie supérieure par un toit métallique muni d'une isolation thermique. Il se forme un front de glace servant à assurer l'étanchéité de cette cavité. La progression du front de glace, après une période d'exploitation de 30 ans a été calculée à 50 m pour le cas du GNL. La caractéristique

principale de ce type de stockage et l'absence d'isolation et de barrières d'étanchéités sur les parois verticales et le fond, seul le gel de l'eau contenue dans le sol assure son imperméabilité.

1.7.3 L'historique du bac et les problèmes rencontrés lors de son exploitation.

Pendant 25 ans d'exploitation, le bac fonctionnait de façon satisfaisante, mais le terrain autour subissait des déformations importantes provoquées par la migration de l'eau vers la zone froide et de sa congélation.

En 1984 une inspection interne a été faite à l'intérieur du bac par un moyen endoscopique afin de vérifier l'absence d'éboulement ou de fissure important sur les parois, ainsi que la bonne tenue de la couronne support du toit.

Le résultat de l'examen n'a pas confirmé d'important désordre à l'intérieur, a part une fissure horizontale à 12 m sous le niveau du sol. Les équipements internes du réservoir sont apparus en bon état, il s'agissait des éléments suivants :

- Les tuyauteries de remplissage.
- Puits de pompes
- Le toit du bac

L'objective de cette étude était de mené des actions correctives pour permettre de prolongé la durée d'exploitation du bac dans des conditions satisfaisantes de sécurité.

En juillet 1985 la Sonatrach a entrepris l'étude de la progression du froid du sol gelé. Cette étude comprenait l'évaluation des déformations, l'interprétation des désordres et la prédiction de l'évolution du front de gel pour les années à venir.

- Problèmes liés à des causes naturelles

Le résultat de cette étude a révélée un soulèvement constant du réservoir sous l'effet de la cryosuccion (un soulèvement plus important coté terre que le coté mer). Ceci a été traduit par la répartition inégale des efforts internes induits par la formation de glace autour et en dessous du réservoir et l'inégalité des réactions dû à l'hétérogénéité des couches de réservoirs.

Les déformations observées aux abords du réservoir consistaient à l'existence de toute une série de fissure d'aspect concentrique Fig. I-4 au niveau du sol et à des distances variables.



Fig. I-4 des fissures autour du bac

➤ Problèmes d'exploitations

Parmi les problèmes rencontrés au niveau de l'exploitation, il a été constaté une importante fuite de GNL au niveau du thermocouple (-4 m, sud ouest) à quelque mètre du bac Fig. I-5 certainement dû à un glissement de terrain qui a entraîné la formation des cavités dans le sol gelé permettant aussi un cheminement constant de gaz froid. Encore l'ouverture intempestive des soupapes lors de la réception du GNL, ce qui a fait augmenter le risque d'incendie surtout en cas de foudre en zone de stockage.

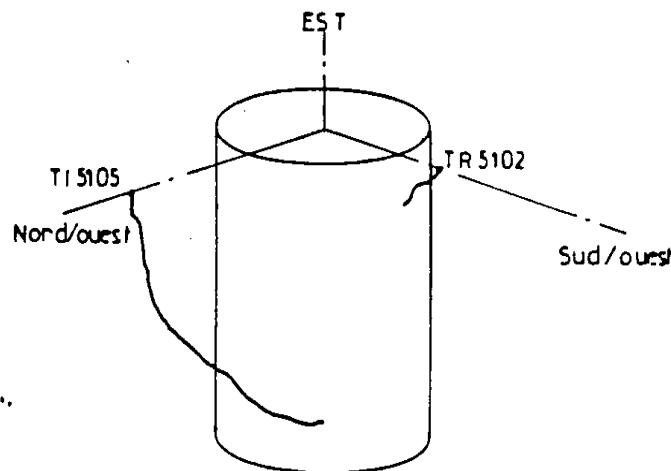


Fig. I-5 fuite de GNL au niveau du thermocouple (-4 m, sud ouest)

En 2002 une troisième expertise a été faite par la Sonatrach, afin de déterminer l'état général du bac et de trouver les moyens de réhabilitations pour une bonne exploitation. Cette étude a été faite spécialement sur la partie supérieure du bac. Elle comprenait les poteaux en béton armé, le réseau des profilés métalliques constituant la coupole et les appuis métalliques.

A l'issue de cette étude, un très grand nombre de poteaux ont été dégradés. des fissures horizontales ont été constatés au niveau de la partie supérieur des poteaux, écaillage du béton sous l'effet de gel fig. I-6 et fig. I-7.



Fig. I-6 l'écaillage du béton



Fig. I-7 des fissures horizontale

Des mouvements des têtes des poteaux sous l'effet des variations des efforts de flexion ont engendrés une dégradation des pieds, accélérés par le gonflement des aciers dus à la corrosion et ponctué par l'alternance des cycles de gel-dégel. Une forte corrosion des appuis métalliques a entraînée leurs blocage et empêcher le glissement de la couronne sur ces appuis.

Concernant les problèmes naturels au niveau du sol. Les déformations et l'apparition des fissures au début de l'exploitation du bac ont évolués avec le temps avec la propagation du front de gel. Le bac a accusé une montée de 500mm avec une inclinaison. Ceci a été confirmé en 1972 par des relevés topographiques qui permettaient l'observation de la progression constante de la montée du bac et par auscultation par GPS (Global Positioning System) faites par le centre national des techniques spatiales (CNTS).

L'auscultation du bac

Elle se fait par l'établissement d'un réseau d'auscultation Fig. I-8 composé de 15 points d'appuis (borne en béton) éloignés de quelques dizaines de mètres du bac et de 42 points cibles (plaques en aluminium) réparti sur l'ossature du bac.

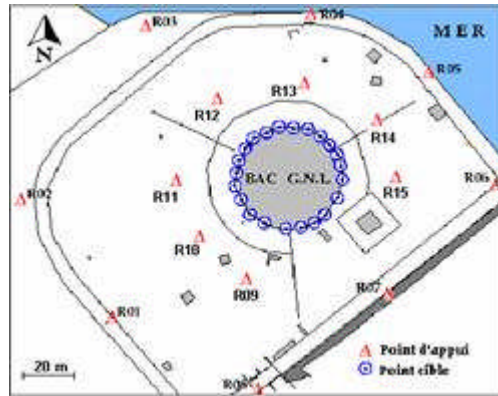


Fig I-8 Réseau d'auscultation

L'Auscultation a été faite en deux sessions la première en 1996-1997 et la deuxième en 2000-2004. L'objectif était de contrôler la stabilité ponctuelle du bac. La première session était en espace de 9 mois ou les déplacements altimétriques et planimétriques étaient de l'ordre de 30mm fig. I-9 et de 20 mm fig. I-10, pour la deuxième session et pendant 4 ans (2000-2004) les déplacements altimétriques et planimétriques fig. I- 11 étaient de l'ordre de 163 mm et 90 mm .

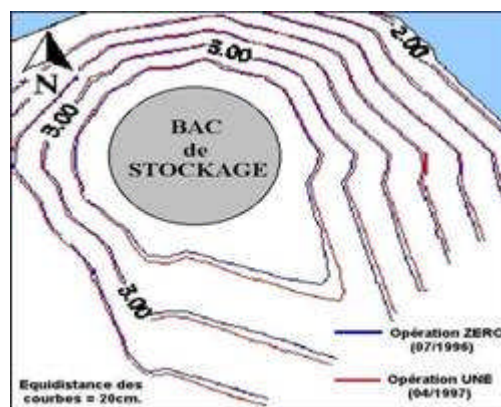


Fig I-9 Evolution du voisinage du bac (09 mois)

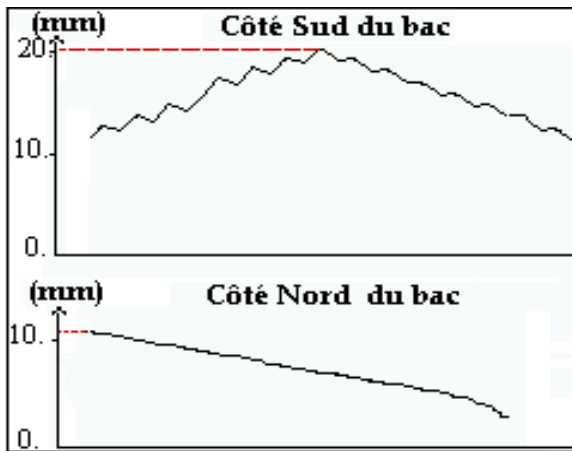


Fig I-10 Déplacements altimétriques

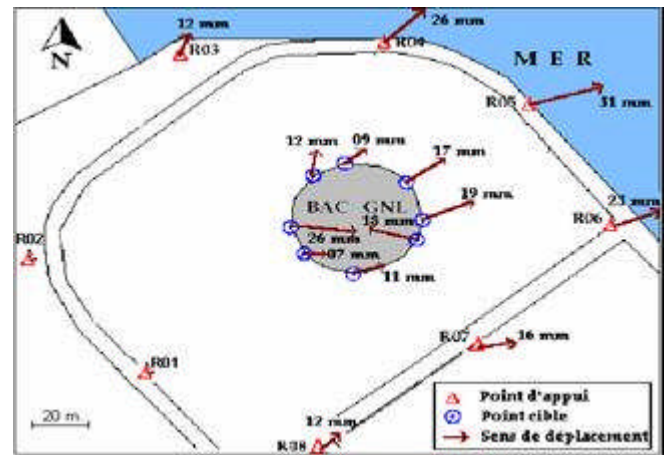


Fig I-11 Déplacements planimétriques

1-8 Les risques liés aux problèmes d'exploitations

Les fuites, le débordement et les déversements causés par la dégradation des installations ou par l'exploitation et l'entretien inadéquat, peuvent être les causes de grave conséquence sur l'environnement et l'économie, par la pollution des eaux souterraines, détérioration des réseaux d'assainissement, rendre l'atmosphère toxique par l'accumulation des vapeurs explosives dans les sous-sols et autres structures souterraines

1.8.1 Le risque incendie -Explosion

Le relâchement de GNL peut provoquer plusieurs dangers, une fuite en présence d'une source d'inflammation provoquera un incendie ou explosion si c'est dans un milieu entièrement ou partiellement clos.

Le soulèvement constant du bac souterrain a provoqué un glissement de terrain, ce glissement a fait apparaître des fissures au niveau du sous sol et a aidé à la formation des cavités souterraines, ces cavités ont servi à un acheminement du gaz froid qui est le GNL.

Plusieurs fuites ont été constatées au niveau de l'espace annulaire du toit du bac souterrain. Ces fuites ont augmentés la probabilité d'occurrence du risque incendie en zone de stockage en cas de foudre ou d'autre source d'inflammation.

La consultation des demandes de travaux établies depuis 1997 ont montrés des défaillances au niveau des organes de sécurité du bac, et qui n'ont jamais été rétablies, comme par exemple des fuites de GNL a cause de l'ouverture intempestive des soupapes surtout lors de la réception du GNL et qui pouvaient provoqués de grave incendie.

Aussi des défaillances au niveau des thermocouples, indicateur de la température du sol, servait à surveiller la progression du froid et plus particulièrement l'isotherme 0°C .certain thermocouples indiqués des températures erronés en salle de contrôle. L'augmentation de la température a l'intérieur du bac pouvait engendrés une augmentation de la pression maximum du système (PMS) et provoquait l'éclatement du bac et de la canalisation.

Autre défaillance ont été constaté, celle de la jauge qui n'a jamais été réparé .cette jauge indiquait le niveau du GNL dans le bac. Le chargement et le déchargement du GNL s'effectuait de façon aléatoire et aurais pu causer des dégâts comme les déversements du GNL.

1.9 CONCLUSION

L'ensemble de ces données recueillis sur l'état générale du bac surtout sur sa partie supérieur indiquant la possibilité d'apparition des désordres structurels majeurs dû à un cisaillement et qui peut provoquer la rupture d'un ou de plusieurs poteaux. En plus du soulèvement constant du bac dû a la propagation du front de gel. Suites a ces différents problèmes techniques et naturels rencontrés et qui ont fait apparaître de très importantes fuites ; il a été décidé de le mettre hors service pour intérêt public.

2.1 Introduction

Les changements dans la technologie des systèmes de stockage, les nouveaux règlements et les modifications apportées aux exigences de stockage peuvent rendre un système de stockage désuet, deux options de mise hors service des réservoirs de stockage sont offertes aux experts :

- L'enlèvement des réservoirs souterrains simplement hors sol.
- L'abandon du système de stockage souterrain après l'avoir nettoyer.

La mise hors service d'un réservoir, comme toutes les autres activités de gestion des réservoirs, est un processus complexe. Une mise hors service mal effectuée peut présenter plusieurs risques.

2.2 Les risques potentiels liés à la mise hors service des réservoirs souterrains

Les systèmes de stockage contiennent souvent des liquides inflammables ou combustibles qui présentent des risques importants pour l'environnement et la santé s'ils ne sont pas bien manipulés.

Parmi les risques liés à la mise hors service du système de stockage, la présence des fuites ou de déversement pendant la vidange du réservoir souterrain, la manipulation de ces liquides inflammable ou de combustible, la présence des vapeurs dans le résidus ou la boue après avoir vider ces réservoirs présentent un risque d'explosion en présence d'une source d'inflammation.

En plus de ces risques, il en existe d'autres qui sont liés à l'installation elle-même, sa technique de stockage, et aussi la procédure de mise en œuvre de son démantèlement. Comme dans notre cas la principale caractéristique du bac souterrain est l'absence d'isolation et de barrières d'étanchéité sur les parois verticales et le fond, seul le gel de l'eau contenue dans le sol assure son imperméabilité. Les risques engendrés par ce type de stockage sont :

- Le risque d'éboulement provoqué par le dégel des parois et les vibrations excessives des véhicules et d'engins lourds autour du bac.
- L'accumulation de l'électricité statique a l'intérieur du bac pendant le remplissage.
- Les brûlures et les morsures causées par la température cryogénique du gaz liquéfié et les gaz de purge à des températures inférieures à 0°C.
- L'asphyxie causée par la purge par l'azote près des points d'injection.

C'est pour cela qu'il faut planifier ou mettre en place une procédure hautement sécurisée pour la mise hors service des réservoirs souterrains afin d'éviter tout accident majeur.

2.3 Planifications de la mise hors services des réservoirs souterrains

Avant d'entamer le projet de mise hors service, une évaluation environnementale doit être faite dans le cadre du développement durable, cette évaluation doit tenir compte de la nature des effets sur l'environnement que pourrait avoir un tel projet comme la mise hors service d'un système de stockage y compris les effets cumulatifs qui peuvent être la cause d'une grande pollution des ressources, adopter les mesures d'atténuations ou d'éliminations des impacts néfastes sur l'environnement .et voir la nature des effets résiduels malgré les mesures d'atténuations prises.

Aussi L'étude de l'historique des fuites et les programmes de surveillance ou de maintenance, permettent d'identifier si le sol est contaminé ou pas. La Localisation des différents services publics (canalisations des égouts et les conduites principales d'eau) par rapport à l'emplacement du réservoir, les identifier clairement au moyen de ruban ou de peinture en aérosol et éliminer toute source d'inflammation.

Donc il est essentiel avant d'entamer des travaux, il faut examiner l'emplacement du réservoir pour pouvoir déceler les risques potentiels. Ainsi la démarche globale de mise hors service des systèmes de stockage souterrains se fait en quatre étapes :

- Vider le réservoir, retirer les vapeurs restantes pour éviter tout risque d'explosion.

- Inertage par l'azote afin de retirer l'oxygène existant ou ramener la teneur d'oxygène au dessous du niveau nécessaire à la combustion. (la purge doit être étroitement surveillée parce qu'elle envoie de l'oxygène dans une zone hautement inflammable). Le retrait de ces vapeurs par inertage ou par purge n'élimine pas complètement les vapeurs ; la boue qui s'accumule au fond des réservoirs ainsi que le tartre contient suffisamment de produit pour produire des vapeurs.
- Une évaluation environnementale complète doit être effectuée même s'il ne semble y avoir aucune contamination. Des échantillons de sol et d'eaux souterraines doivent être prélevés pour analyse afin de confirmer qu'il n'y a eu aucune émission. [14].

2.4 Procédure de mise hors service du bac proposé par le groupe PSN2

Le démantèlement du bac a été basé sur la documentation de référence à savoir « la norme API pratique 1604, mars 1996 », « la fermeture des bacs de stockage souterrains de pétrole », « Conditions pour l'entrée et le nettoyage des bacs de stockage de pétrole » norme 2015, 2001 d'API et AGA purgeant principes et pratique, troisième édition 2001. La procédure de mise hors service a été adaptée à la nature du système de stockage souterrain, ces principales actions consistent à vider le bac, purger et le remplir.

Les étapes de la procédure sont détaillées de la manière suivante :

L'étape 1 :

- a) Transférer le GNL hors du bac vers les bacs de stockage de GNL aériens ou vers un méthanier suivant le cas, compte tenu de la composition du produit.

² PSN (Production Services Network) est un fournisseur mondial de services de pétrole, de gaz et d'autres industries de transformation. Elle est présente sur les cinq continents, assure la gestion de projet, d'ingénierie ; de construction, d'installation et de la gestion de production.

- b) Vidanger le bac de stockage de GNL en excavation T 5101 au niveau le plus bas au moyen des pompes de vidange immergées.
- c) Une fois le premier puisard de pompe à l'intérieur du bac est vide, permuter les pompes pour vidanger le second puisard également.

L'étape 2 :

Evacuation du GNL lourd (C₂- C₄), le bac sera rincé avec du GNL léger 4 fois 500 tonnes et le pomper immédiatement pour l'évacuer, ceci permettra de réduire la durée pendant laquelle les produits lourds se stabiliseront au fond. L'intention de cette étape est d'évacuer autant de lourds que possible de manière à réduire la période de réchauffement/vaporisation.

L'étape 3 :

Elle se fait en deux parties, la première consiste à maintenir la température de l'épaule du bac en purgeant la ligne de mise en froid de 4", en injectant de l'azote liquide dans les barres de dispersion et la deuxième partie réchauffera le bac et vaporisera le GNL restant sous l'effet de la chaleur du sol autour du bac.

L'étape 4 :

La purge du bac et des tuyauteries associées doit être faite par étape et dans l'ordre suivant :

1. opération de purge de la ligne de mise en froid du bac en excavation
2. opération de purge de la ligne de chargement de GNL
3. opération de purge des lignes de soutirage de pompes immergées dans le bac
4. opération de purge de bac.

Tout le gaz doit être dirigé vers le bac en excavation pour aider l'évacuation des hydrocarbures contenus dans le bac.

Il n'est pas possible de s'assurer que la tuyauterie est parfaitement purgée alors il faut calculer le volume de la tuyauterie, le multiplier par trois et ajouter une marge de 10 %. Tout le gaz naturel (méthane) doit être chassé de la tuyauterie, et ce afin d'éviter la formation d'un mélange d'air avec des gaz toxiques et /ou inflammables .les limites

d'inflammabilité se situent entre 5%-15% de méthane avec l'air. Pendant toute la procédure de purge, l'azote gazeux sera envoyé à l'atmosphère.

La purge de bac se fait en introduisant de l'azote sous forme liquide, celui-ci s'étalera au fond du bac. La vapeur de l'azote froid est plus dense que les vapeurs de GNL dans le bac et formera un bouchon en bas qui fera remonter le gaz naturel pour le chasser hors du bac.

L'étape 5 :

Déconnexion des raccords de tuyauteries du bac.

L'étape 6 :

La dépose des pompes immergées pour permettre le remplissage du bac et le démontage des structures.

L'étape 7 :

Découper neuf ouvertures dans le toit du bac et de les utiliser pour remplir le bac de sable. Les ouvertures seront découpées à intervalles réguliers tout autour de la périphérie du bac, au moyen d'un système de découpage à froid, pour permettre de positionner la trémie de distribution du sable en divers points autour du bac.

La chaleur nécessaire à la vaporisation du GNL éventuellement restant, sera fournie par le matériau déversé dans le bac en excavation .les vapeurs d'hydrocarbures dégagées seront diluées par l'injection continue d'azote, ce qui rendra cette opération sûre et rentable d'un point de vue financier.

L'étape 8 :

Il s'agit de remplir le bac avec du sable mélangé avec de la terre, il est nécessaire de faire recirculer l'azote gazeux de purge pendant le remplissage afin d'éviter tout risque de création d'un mélange explosif, susceptible de prendre feu en contact de l'électricité statique produite par le mouvement des solides à travers la trémie pour aller dans le bac.

L'étape 9 :

Une fois le bac rempli de sable comme spécifié ci-dessus, on pourra démonter la structure de toit et l'enlever comme suit :

- 1- Enlever la passerelle au dessus du bac.
- 2- Enlever les dalles de béton qui sont sur le toit du bac.
- 3- Enlever les dalles de béton qui sont sur les supports du toit.
- 4- Découper le toit en aluminium.
- 5- Remplir de sable et compacter localement dans le bac pour donner une surface de travail appropriée.
- 6- Enlever le calorifuge en dessous du toit, entre le toit et la grille d'aluminium.
- 7- Découper et enlever la grille en aluminium en morceaux de taille gérable.
- 8- Démolir et enlever la passerelle supérieure et la charpente de support de la tuyauterie.
- 9- Excaver le sol à l'extérieur du bac pour faire apparaître les murs en aluminium enterrés de la partie supérieure du bac.
- 10- Casser la couronne en béton et les piliers de support de la charpente du toit.

L'étape 10 :

Il s'agit de ramener la surface du bac au même niveau que le sol environnant en inondant la zone remplie avec de l'eau pour laisser le tassement se faire et rajouter de la terre ou le remblai suivant les besoins pour ramener la surface au même niveau que les environs.

L'étape 11 :

Après avoir enlevé la charpente du toit et rempli la cavité du bac, il faut surveiller cette zone régulièrement, pendant au moins une année afin de mesurer les changements de températures sur le sol autour de la cavité au moyen des sondes de température actuellement en place [14].

2.5 Conclusion

En comparant la démarche de mise hors service des systèmes de stockage souterrain et la procédure proposée par PSN, on trouve que l'évaluation environnementale n'est pas prise en considération, concernant la contamination du sous sol et des eaux souterraines. Des échantillons de sol et d'eaux souterraines doivent être prélevés pour confirmer la présence ou non des contaminants

3.1 Introduction

L'objectif de cette réglementation est de maintenir un environnement de travail sans incident, travailler d'une manière compatible avec cet objectif et d'assurer un haut niveau de sécurité au sein des entreprises, obliger les responsables par ces lois et ces décrets à prendre les mesures nécessaires pour la protection des travailleurs, de l'environnement et d'une surveillance rigoureuses des installations classées dangereuses.

3.2 L'évaluation de la réglementation algérienne

La réglementation algérienne est riche en matière de lois concernant les risques, l'hygiène et la sécurité au travail. Cependant, une évaluation de la réglementation algérienne par rapport aux activités liées au projet de démantèlement du bac semi enterré a montré l'absence de texte concernant les activités indiquées dans le Tableau III-1. L'Algérie est un pays consommateur de technologie et par conséquent nous sommes limités à suivre tout ce qui a été produit à l'échelle international ou communautaire, c'est pour cela qu'il a été décidé de se référer aux normes internationales.

Rappelons que le projet a été confié au groupe PSN (Product service network), entreprise internationale en collaboration avec Sonatrach. L'entreprise Britannique (PSN) a décidé d'appliquer cette procédure et ces standards (normes) à moins qu'il existe un article algérien spécifique qui réclame un niveau plus élevé que la législation britannique.

Activité	Risque
Manipulation de calorifuge du bac et des lignes	Irritation de la peau intoxication
Travaux en espace confiné	Chute, explosion, asphyxie
Equipements de levage	blessure
Echafaudage	Blessure, Chute, chute d'objets

Tableau III-1 la liste des activités non réglementées en Algérie

3-3 REGLEMENTATION EUROPEENNES SEVESO

3.3.1 Cadre réglementaire de la prévention

La loi 19 juillet 1976 définissait une approche intégrée de la régulation des activités industrielles à risque et permettait ainsi une prise en compte de tous les impacts du risque sur l'environnement. Une évaluation des incidents de l'exploitation sur l'homme et l'environnement, en situation normale et en cas d'accident, et une définition des mesures de prévention à mettre en place. Cette procédure concerne les entreprises dont l'activité pourrait avoir un impact élevé sur l'environnement.

3.3.2 Les directives européennes concernant l'étude de danger

La directive européenne relative aux accidents industriels majeurs datant du 24 juin 1982 impose un recensement des installations à risque et la mise en place d'un dispositif de maîtrise des risques inhérent aux activités industrielles. En février 1999 la directive vient renforcer les exigences de sécurité et de prévention de la première, on notera particulièrement l'utilisation de la notion « établissement » ou installation, généralisant l'application de la directive à l'ensemble des infrastructures de l'entreprise et d'accès à celle-ci. Aussi l'instauration d'un dispositif organisationnel dans la prévention des risques, en particulier leur prise en compte dans l'aménagement des terrains autour de l'usine à risque et plus largement dans le développement urbain des collectivités locales. Cette directive a posé les bases entre les différents acteurs concernés (exploitant, riverain) à travers l'information préventive de la population. C'est à dire l'obligation d'informer le public adéquatement aux risques auxquels ils sont exposés et des moyens engagés pour les contrôler.

La directive Seveso 2 instaure une nouvelle approche de la régulation des activités industrielles, l'arrêté ministériel du 10 mai 2000 préconise la mise en place d'un système de gestion de la sécurité basé avant tout sur des dispositions organisationnelles et informationnelles en sein de l'entreprise à risque et entre les différents acteurs (état exploitant et riverain).

4.1 Introduction

L'objectif de la gestion des risques est la prévention ou bien la réduction de ces risques, le risque se mesure par sa probabilité d'occurrence et sa gravité (sévérité).

La tâche de l'analyse des risques est confiée à un groupe de travail nécessairement pluridisciplinaire qui définit les niveaux de protection et de sécurité sur les différents systèmes cibles (individus, population, installations...), le processus d'analyse des risques fait appel à différentes connaissances et compétences.

L'analyse des risques est une démarche intégrée au mode de fonctionnement de l'entité³ concernée, continue et itérative puisqu'elle fait partie de la stratégie de l'établissement. Elle s'inscrit dans une démarche en quatre temps :

- Analyse du système
- Identification des risques
- Modélisation qualitative des risques
- Quantification des risques

A Chacune de ces phases correspondent des outils spécifiques [9].

4.2 Principaux outils d'analyses des risques

Il est nécessaire de rappeler qu'il n'existe pas une méthode unique pour mesurer le risque et l'estimer. Le risque est le produit de deux variables qui sont la gravité des conséquences d'un événement indésirable et sa probabilité d'occurrence. Le risque d'une estimation doit être calculé à partir données disponibles et reste toujours estimable. L'identification des risques, dans un second temps, utilisera des outils qualitatifs tels que l'Analyse Préliminaire de Risques (*Preliminary Hazard Analysis, PHA*)⁴, l'analyse HAZOP (HAZard and OPérations)⁵, ou

³ Le mot « entité » désigne l'entreprise, l'organisation ou le projet.

⁴ Développée aux états-unis au début des années 60 pour l'analyse de la sécurité de missiles puis elle été formalisée et employée dans les secteurs de la chimie, du nucléaire et de l'aéronautique.

⁵ Issue de l'industrie chimique, appliqué par Impérial Chemical Industries au Royaume-Uni dans les années 70.

encore l'Analyse des Modes de Défaillances et de leur Criticité (AMDEC, *Failure Modes and Criticality Analysis*, FMECA)⁶.

4.2.1 Analyse préliminaire des risques

L'analyse préliminaire de risques (APR) se fonde sur l'avis d'experts qui associent à chaque fonction du système considéré les risques qui en découlent et les accidents auxquels ils sont susceptibles de mener, les conditions susceptibles de conduire à ces accidents potentiels, et les conséquences de ces accidents dans l'éventualité où ils se réaliseraient. L'objectif de cette méthode est de prendre en compte le facteur sécurité dès la phase recherche et conception, envisager tout les risques inhérents aux produits, procédés équipements d'installation et prescrire les actions correctives et répertorier les risques nécessitant une analyse plus fine.

Cette méthode indispensable pour les nouvelles installations, permet d'éviter les erreurs de conception et mettre en évidence les principaux risques mais cela ne permet pas d'identifier les risques liés à la complexité des systèmes.

4.2.2 L'analyse HAZOP

C'est une méthode de recherche systématique des causes possibles des dérives de tous les paramètres de fonctionnement d'une installation. Ainsi pour chaque composant l'équipe Hazop s'interroge sur l'ensemble des possibilités de déviation à l'aide de mots -clés appliquées aux paramètres de fonctionnement, les causes et les conséquences de cette déviation et les moyens d'y remédier.

La mise en œuvre de la méthode est d'abord de constituer une équipe pluridisciplinaire, préparer les documents nécessaires ou autres documents préparatoires (éléments caractéristiques des capacités, des pompes....) à jour, découper l'installation en système, faire une hypothèse de dérive pour chaque système en combinant paramètres de fonctionnement et mots clés ensuite rechercher

⁶ Introduite dans les années 60, elle est réglementaire à l'étude de la sécurité des avions en France et aux Etats-Unis.

les causes possibles de dérive et trouver les mesures de prévention, détection, protection.

4.2.3 Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leurs criticités (AMDEC)

Cette méthode repose également sur l'établissement de représentations tabulaires des risques potentiels. Il s'agit de décrire les modes de défaillances possibles de chaque composant du système considéré, les conséquences de ces défaillances, leur impact sur le fonctionnement du système, les moyens de détecter leur survenue, et les options de réduction des risques qu'elles posent. Elle est utilisable en maintenance pour cerner les priorités, hiérarchiser les actions et améliorations.

Les étapes à suivre pour la mise en œuvre de la méthode :

- définir le système.
- Découpage du système en sous système.
- Définir les modes de défaillances.
- Causes de défaillances sous l'angle de fonction et défaillances de performances.
- Effets des défaillances locaux.
- Compensations et détection
- Mesure de gravité, probabilité, criticité
- Actions correctives.

L'AMDEC est une analyse qualitative et quantitative rigoureuse et précise, intègre différentes notions liées à la sécurité comme la maintenance, opérabilité, fiabilité, l'inconvénient c'est que c'est une méthode longue et fastidieuse pour un système complexe. Elle est inadaptée pour les systèmes très informatisés.

La modélisation des risques que constitue la phase suivante après les avoir identifier, passe par l'analyse des scénarios, qui se fait à l'aide des arbres de défaillance et des arbres d'événement à partir duquel on peut déterminer

l'événement susceptible d'aboutir à la réalisation d'un événement redouté et les conséquences de cet événement.

4.2.4 L'arbre de cause

Méthode appelée aussi arbre de défaillance⁷, est une méthode technique descendante qui part d'un événement pour en comprendre les causes et recherche la combinaison des différents événements élémentaire ou défaillance qui peuvent conduire. L'objectif de cette méthode est que à partir d'un événement final indésirable, rechercher les combinaisons des différents événements élémentaires ou défaillances qui peuvent y conduire puis réduire la probabilité d'occurrence de l'événement final.

Le principe est de définir l'événement indésirable, représenter graphiquement les combinaisons d'événements par un arbre qui formé par des niveaux successifs tel que chaque événement soit généré à partir d'événements inférieurs par l'intermédiaire de portes logiques « et » et « ou » et voir ce qu'il faut pour que l'événement se produise puis construire l'arbre et l'exploiter en faisant évaluer la probabilité des événements élémentaires et calcul de probabilité de l'événement final mettre en évidence des chemins critiques et placer des barrières supplémentaires [9].

⁷ Utilisés dans les années 60 pour l'analyse des programmes spatiaux et dans l'aéronautique et au cours des années 70 avec l'étude « reactor safety study » par l'équipe Norman Rasmussen dans les centrales nucléaires américaines.

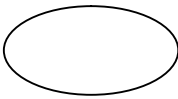

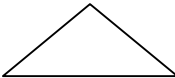

Symbole de l'événement	Type d'événement
	Evénement de base
	Evénement développé par une porte logique
	Renvoi vers un sous arbre
	Evénement conditionnel

Tableau IV.1: événements dans les arbres de causes (d'après Kristiansen ,2001)

4.2.5 La Méthode MADS MOSAR

Les outils cités auparavant sont pour l'essentiel issus du domaine de la sûreté de fonctionnement qui s'est développée dans plusieurs secteurs de l'industrie dont principalement l'industrie nucléaire, l'industrie aéronautique et l'industrie chimique.

La France est le seul pays à proposer un cadre théorique ou un contexte conceptuel à la gestion globale des risques.

La méthode MADS consiste à représenter les systèmes sources de danger et les systèmes cibles auxquels s'appliquent les événements non souhaités⁸ et les mettre

⁸ Les événements non souhaités (ou ENS) sont les dysfonctionnements susceptible de provoquer des effets non souhaités sur l'individu, la population, l'écosystème et l'installation.

en relation afin de modéliser le processus de danger⁹ puis analysé le risque en utilisant des outils d'analyse de risque afin de gérer et manager les événements non souhaités, a priori (prévention) et a posteriori (retour d'expérience).

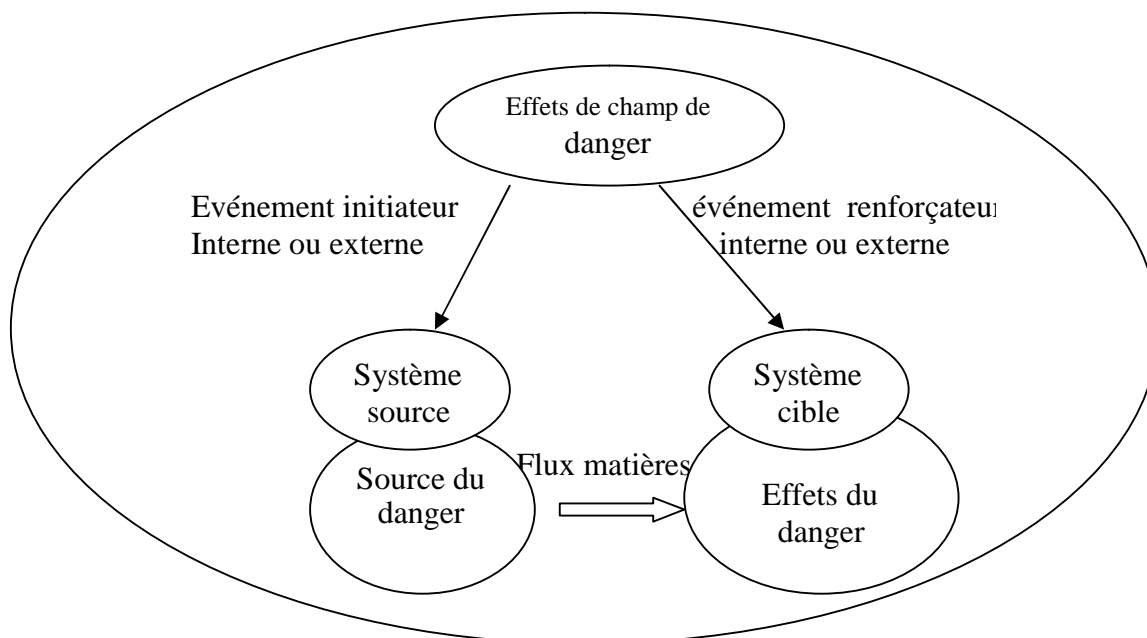


Fig. IV-1 Le modèle de référence : le processus de danger

La figure IV-1 illustre la modélisation du processus de danger qui se fait en reliant les systèmes sources de danger aux systèmes cibles, susceptible d'être affecté. La liaison s'opère en modélisant un flux de danger, liaison orientée source cible.

Il existe trois types de flux de danger : les flux de matières, d'énergie et d'information.

La mise en œuvre pratique de MADS a été formalisée dans une méthode appelée MOSAR, méthode d'analyse des risques participatives (comme l'AMDEC) dont les objectifs sont d'identifier, d'évaluer, maîtriser, gérer et manager des événements non souhaités. Elle a vocation à intégrer les réglementations spécifiques

⁹ Le processus de danger est le modèle de référence que l'on constitue en représentant de façon générale les systèmes source et cible. Cette phase permet l'acquisition des connaissances sur les systèmes source et cible

sans s'en contenter. Elle peut être mise en œuvre selon une approche déterministe¹⁰ ou probabiliste¹¹. Elle met en œuvre des concepts logiques, systématiques¹² et systémiques¹³ elle a recours aux outils classiques (grilles, tableau de référence, etc.) tel que l'AMDEC., HAZOP, des arbres, etc.

La méthode MADS-MOSAR comprend deux modules (Figure IV-2) :

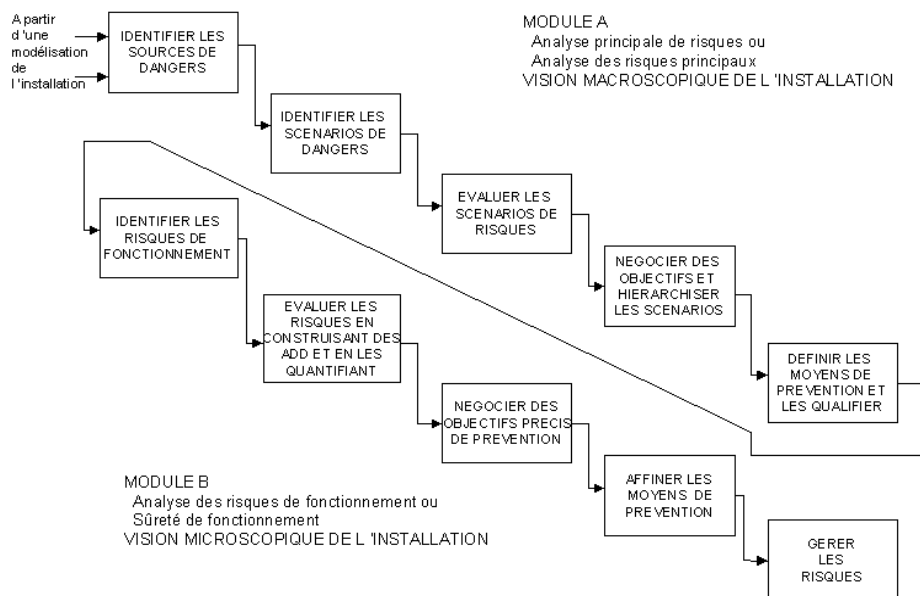


Fig. IV-2 La structure de la méthode MADS -MOSAR

Le premier module A : permet de réaliser une analyse des risques principaux. A partir d'une décomposition de l'installation en sous-systèmes, on commence par identifier de manière systématique en quoi chaque sous-système peut être source de dangers. Pour cela, on fait référence à une grille de typologie des

¹⁰ L'approche déterministe se concentre sur l'évaluation des conséquences d'un accident, utilise des techniques de modélisation et de calcul déterministe à partir des scénarios. La qualité de cette approche est conditionnée par l'état des connaissances et ne peut satisfaire l'analyse des risques dans des nouvelles situations ou dans des situations complexes et non entièrement maîtrisées.

¹¹ L'approche probabiliste repose sur l'estimation de la probabilité de survenue d'un événement non souhaité.

¹² Qui est fait avec méthode selon un ordre logique et cohérent, pensé et agit d'une manière rigide, péremptoire sans tenir compte des circonstances.

¹³ Démarche qui modélise la réalité complexe par les systèmes, qui identifie et qui prend en compte les interactions.

systèmes sources de dangers et on utilise le modèle MADS qui relie source de dangers et cibles.

L'utilisation de la technique des boîtes noires permet de générer des scénarios de risques d'interférence entre les sous-systèmes qui, rassemblés sur un même événement constituent un arbre logique ou arbre d'événements.

La négociation d'objectifs entre les acteurs concernés, par construction de graphes probabilités-gravité permet de hiérarchiser les scénarios identifiés. La recherche des moyens de prévention (barrières techniques et barrières opératoires) nécessaires pour neutraliser les scénarios assure la prévention des risques. Ce premier module se termine par la qualification dans le temps des barrières identifiées.

Le deuxième module B : permet de réaliser une analyse détaillée de l'installation et notamment il met en œuvre les outils de la sûreté de fonctionnement pour la recherche des dysfonctionnements techniques des machines et appareils (AMDEC). Il met aussi en œuvre les approches de l'analyse opératoire pour la recherche des dysfonctionnements opératoires(HAZOP). Il est alors possible de mettre en œuvre les propriétés de ces outils notamment dans certains cas pour calculer la probabilité du risque final [10].

La mise en œuvre se fait niveau par niveau et chaque niveau apporte un enrichissement en information. Il est possible de s'arrêter à des niveaux choisis. Le module A donne une bonne analyse des risques principaux d'une installation. Il est praticable par tout ingénieur ou technicien et nécessite une durée de trois jours pour une installation classique. Le module B prend beaucoup plus de temps suivant le degré de détail exigé. Il nécessite la connaissance des outils et leur mise en œuvre. [10].

Méthode	Avantages	Inconvénients
Analyse préliminaire de risques	Méthodique / facile Adaptés aux procédés discontinus, aux risques mal connus, aux installations peu étudiées	Pas exhaustif (risque d'oubli) Caractère préliminaire (détail du procédé non couvert) Ne traite pas les interactions
Hazop (hazard and operability study)	Groupe pluridisciplinaire Adaptés a des procédés continues dans chacune de leur phase (exploitation, démarrage, arrêt) Systématique Utilisable pour gérer les modifications	Lourd, divergence facile Limitée aux dérives fonctionnement d'un système mettant en œuvres des fluides Ne permet pas la représentation des combinaisons d'événement ou leur enchaînement.
AMDEC (Analyse des modes de défaillance et de leur criticité)	Adapté à des systèmes avec composants Prise en compte de la probabilité de défaillance	Ne traite pas les interactions, défaillances multiples, combinaisons d'événement Méthode inadaptée pour systèmes très informatisés
Arbre de défaillance (analyse qualitative ou quantitative)	Groupe de spécialistes Gere bien les interactions entre systèmes (probabilité de défaillance globale)	Complexe (à réservé aux risques majeurs).Repose sur données statistiques pour la partie quantifications. A utilisé après une méthode inductive (Hazop, Amdec)

Tableau IV-2 Comparaison d'outils d'identification des risques

4.3 Conclusion

En résumant les avantages et les inconvénients présentés dans le tableau IV-1, de chacune des méthodes d'analyses des risques citées auparavant, nous pouvons conclure que la connaissance des risques est rarement exhaustive surtout pour un système nouveau ou complexe. Les limites de ces méthodes sont souvent liées aux conditions nécessaires à leurs usages comme c'est le cas de l'APR et L'AMDEC qui s'appuient sur le savoir faire dans l'analyse des défaillances et nécessitent des données statistiques. Ces méthodes sont souvent liées aux conditions nécessaires à leurs usages, La méthode AMDEC par exemple permet l'analyse les défaillances d'une installation, elle est utilisée surtout pour la maintenance. La méthode HAZOP est utilisé pour les procédés chimiques, elle étudie les déviations des paramètres (pression, température, etc.) . par contre la methode MADS MOSAR permet l'identification globale des risques . Elle permet aussi par le biais de l'analyse systémique de prendre en compte les interactions entre les différents éléments (installation/environnement/homme).

L'intégration de la réglementation applicable et le retour d'expérience permettent l'identification des moyens de préventions et de protection tandis que la genèse des scénarios permet la recherche des barrières permettant de neutraliser ces risques.

Le choix d'une méthode d'analyse de risque est tributaire du système étudié. la méthode retenue doit être adaptée à des méthodes existantes notamment pour prendre en considération les conjonctions des causes. Il n'existe pas de règle claire et nette justifiant chaque cas particulier. Le choix de la méthode dépend des critères suivants :

- de la définition de l'installation
- de son principe de fonctionnement
- de la complexité de l'installation
- des dangers potentiels présents

4.4 RETOUR D'EXPÉRIENCE

L'objectif de ce chapitre est de se saisir de tout accident, incident, anomalie pour en retirer le maximum d'enseignement afin d'éviter que des accidents de même nature se reproduisent dans d'autres installations, d'évaluer et d'améliorer les dispositifs de prévention existants.

La démarche de retour d'expérience peut ainsi être définie comme une démarche organisée et systématique pour :

- analyser toutes les anomalies, tous les incidents et accidents constatés
- en rechercher les causes et les enchaînements
- en tirer les divers enseignements
- définir les mesures de correction et amélioration,
- assurer l'information pertinente aux parties intéressées.

4.4.1. Analyse statistique générale

Selon une étude faite par l'INERIS sur les accidents liés aux réservoirs de stockage des hydrocarbures, trois bases de données européennes publiques ont été interrogées :

- La base de données **FACT** (Failure and Accidents Technical System) du NETHERLAND, regroupe plus de 22.222 accidents qui se sont produits partout dans le monde pendant les 90 dernières années.
- La base de données **MHIDAS** (Major Hazard Incident Data Service) du HSE en Angleterre regroupe plus de 11.000 accidents comportant le transport, le stockage et le traitement des matériaux dangereux. Elle informe sur les incidents impliquant les matériaux dangereux qui ont eu d'impact extérieur, ou a eu le potentiel d'avoir d'impact extérieur sur la population, les biens et l'environnement.

- La base de données **ARIA** (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) du BARPI (Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles) recense les incidents ou accidents qui ont, ou qui auraient pu porter atteinte à la santé ou la sécurité publique, l'agriculture, la nature et l'environnement. Pour l'essentiel, ces événements résultent de l'activité d'usines, ateliers, dépôts, chantiers, carrières, élevages...classés au titre de la législation relative aux Installations Classées, ainsi que du transport de matières dangereuses. A ce jour, la base ARIA recense plus de 32 000 accidents ou incidents survenus en France ou à l'étranger ; près de 1 200 ont été ainsi répertoriés au titre de l'année 2006.

24 cas ont été recensés par la base de données FACTS concernant les accidents liés aux réservoirs de stockage, 05 cas recensés par la base de données MHIDAS et 20 cas par la base de données ARIA. Elles étaient interrogées par les mots clé hydrocarbon, storage, liquid, tanks.

L'étude a montrée que le nombre d'accident recensé en Amérique du nord et en Europe est très important par rapport a d'autres pays, les accidents survenus en Afrique du nord, la Russie, le Moyen-Orient sont limités et ceci peut être traduit par le fait qu'un certain nombre d'accidents ayant probablement eu lieu n'ont pas été signalé ou recensé par les organismes locaux ou par les medias.

La deuxième constatations concerne la répartition des accidents par phénomène, et indique que les événements principaux les plus répandus sont les incendies et les explosions, surtout survenus dans des installations comme la raffinerie, les dépôts ou encore stockage.

4.4.2 Retour d'expérience au niveau mondial

La base de donnée ARIA du BARPI a été interrogés sur les accidents majeurs liés au stockage souterrain, quatre mots clés ont été utilisés pour cette recherche (stockage, souterrain, gaz liquéfié). Nous allons narrer quelques accidents qui se sont déroulés dans le monde.

Lieu et date	Descriptions
07/05/2003 - FRANCE - GOURNAY-SUR-ARONDE	<p>Une explosion de gaz suivie d'un incendie endommage des installations de surface sur un centre de stockage souterrain de gaz naturel. Elle se produit dans un local électrique situé hors zone, gaz abritant les automates d'un manifold de transfert, alors que le stockage est en phase de soutirage. Les arrêts d'urgence et l'alarme sont activés. Un périmètre de sécurité est mis en place sur le site dont les différentes activités sont suspendues. Les employés équipés d'ARI maîtrisent rapidement le sinistre à l'aide d'extincteurs CO2. Seuls des dommages matériels sont observés : bâtiment fissuré, câblages et armoires de contrôle-commande à vérifier, couvercle d'une chambre de tirage en fonte projeté à plusieurs mètres. Une fuite de gaz est finalement localisée sur une canalisation (DN50), bras mort raccordé à une "antenne" de DN 150 sur un circuit de purge, partiellement démonté depuis 1987. Le cheminement entre le point de fuite et le local accidenté s'est probablement opéré via des caniveaux techniques abritant des câbles électriques. La durée de fuite qui n'est pas connue avec précision, a pu commencer bien avant l'accident. Le tuyau à 3 m de profondeur est isolé et Purgée. Une fouille, rendue difficile par le sol gelé sur 2,5 m par le gaz sous pression, est finalement achevée 2 j plus tard Le volume de la fuite serait compris entre 2 500 et 25 000 m³.</p>

<p>20/01/2001 - ETATS-UNIS - HUTCHINSON</p>	<p>Du gaz, provenant d'un stockage souterrain en site naturel, s'infiltré à travers les anfractuosités du terrain et les failles et provoque l'éruption de plusieurs geysers (9 selon les autorités). La première résurgence, d'une hauteur d'une dizaine de mètre, s'est produite dans un entreposage de mobil homes puis a explosé. Une centaine de personnes est évacuée aux alentours. D'autres fuites du même type suivent. Les secours rencontrent des difficultés à traiter ces accidents. Les fuites sont finalement maîtrisées au bout de 4 jours. Les différents incendies auront fait 3 blessés.</p>
<p>22/01/1997 - ALLEMAGNE - WASUNGEN</p>	<p>Une explosion suivie d'un incendie se produit dans une installation de stockage et de distribution de gaz combustibles liquéfiés. La salle des pompes, la salle de commande électrique et une partie de l'atelier de régénération sont détruites. Un employé est blessé, un autre choqué et les dommages matériels sont évalués à 350 000 DM. Après investigations, l'inétanchéité de canalisations de gaz et d'autres gaines électriques souterraines est constatée, du fait d'une attaque par la rouille. Le gaz s'est par conséquent infiltré dans le sol. Compte-tenu des conditions météo (sol gelé à cette période), il ne peut se diffuser à l'air libre et chemine via des lignes de fuite sous le bâtiment, dans les zones de drainage non raccordées au réseau d'eaux usées. Un mélange explosif se forme peu à peu et gagne les locaux à proximité constitués par une salle de repos et des sanitaires où une cigarette allumée provoque l'explosion du nuage</p>

19/04/1996 - RUSSIE - RYAZAN	Une capacité de stockage souterrain de pétrole d'une capacité de 10 000 m ³ explose dans une raffinerie. On déplore 2 morts, 1 blessé et 2 disparus.
20/02/1996 FRANCE (G.D.F) SAINT-ILLIERS	<p>Une longue torchère précédée par un bruit assourdissant, éclaire le ciel de saint-illiers dans les Yvelines Vers 6h30 du matin, un incendie spectaculaire s'est déclaré sur le site d'exploitation. Selon la commission d'enquête, une fuite sur une vanne souterraine est très probablement à l'origine du sinistre et qui a été suite a une hypothèse proposés par des métallurgistes enflammé par des projections de silex qui ont peut être provoqués l'étincelle coupable. l'incendie s'est rapidement amplifié. Par ailleurs, du gaz en retour du réseau de transport a alimenté l'incendie. Il n'y eut aucun dommage corporel, les dommages matériels sont restés confinés sur le site, mais cela aurait pu être beaucoup plus grave. L'ensemble des installations est soumis à un puissant rayonnement qui fait fondre tous les équipements sensibles dans un rayon de 100 mètres.</p> <p>Les causes qui ont aggravés le sinistre étaient :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. les conditions météo logiques déplorables, il a neigé abondamment toute la nuit, et les petites routes étaient difficilement accessibles 2. l'effet vibratoire engendré par la fuite principale a été très important , au point ou il a était capable de desserrer les lourds écrous des brides, les joints de bakélites sublimés a 250°C provoquant une nouvelle fuite qui s'enflamme au contact du brasier proche

	<p>accentuant l'effet vibratoire.</p> <p>3. cinq fuites ont été dénombrées, elles résultent d'un effet domino succédant de la première.</p> <p>4. vanne inaccessible, parce qu'elle est trop près de la chaleur.</p>
<p>22/11/1994 - RUSSIE - NAKHODKA</p>	<p>Une explosion détruit le couvercle en béton armé d'un stockage souterrain contenant 2 000 t d'hydrocarbures, et entraîne un important incendie. Après 2 jours de combustion, le feu est maîtrisé en 2 heures par les pompiers. Aucune victime n'est déplorée.</p>
<p>11/10/1993 - CHINE - BAOHE</p>	<p>Une explosion souterraine suivie d'une boule de feu serait survenue dans un stockage souterrain de gaz naturel à la suite du dysfonctionnement d'un puits d'extraction. L'accident serait à l'origine de la mort de 70 personnes. Un mauvais entretien de systèmes de protection contre les surpressions serait à l'origine de l'accident.</p>

07/04/1992 - ETATS-UNIS - BRENHAM	<p>Une violente explosion se produit dans la campagne, à proximité d'un site de stockage souterrain de gaz de pétrole liquéfiés (GPL). La cavité utilisée contient environ 60 000 m³ d'un gaz issu de la première distillation du pétrole et composé principalement de 1/3 de propane, d'1/3 d'éthane, de 20 % de butane et isobutane, de 10 % de pentane et d'iso pentane. Un feu sur une installation voisine de stockage d'extraction de pétrole et sur un pipeline de gaz liquéfié fait suite à l'explosion. Le sinistre n'est maîtrisé qu'au bout de 48 h. Les vibrations du sol transmises par l'explosion sont ressenties à 200 km. Le sismographe de Houston (d=100 km) enregistre une secousse de degré 3,5 à 4 sur l'échelle de Richter. D'après les éléments d'enquête, le gaz s'est échappé pendant 1 h puis le nuage ainsi formé s'est enflammé au contact d'un véhicule de passage. L'UVCE (en fait 3 à 4 explosions consécutives) provoque de très gros dégâts : malgré la faible urbanisation, le bilan est de 3 morts et 19 blessés, les constructions sont endommagées sur 800 ha (zone brûlée sur 40 ha ; 5 maisons détruites et 55 autres touchées ; vitres détruites sur 200 km), 75 bovins sont tués et 12 blessés. Le coût total est estimé à 9 M\$. Un sur remplissage de la cavité est à l'origine de la fuite, estimée entre 50 et 100 t. Il serait du à une défaillance des installations de sécurité permettant l'arrêt du remplissage.</p>
--------------------------------------	--

1973-NEWYORK-STATEN LAND	Un accident industriel s'est produit dans une installation GNL à Staten Land, New York, lorsqu'un réservoir a été mis hors service pour être nettoyé, quarante employés qui se trouvaient dans le réservoir ont été tués lorsque les vapeurs de fluide de nettoyage se sont enflammées et que le toit du réservoir s'est effondré , les autorités chargés de l'enquête ont jugés que c'était un accident lié a une activité de construction et non relié a l'utilisation du réservoir.
-----------------------------	--

Tableau IV-3 historique des accidents majeurs liés au stockage souterrain

4.4.3 Conclusion

La majorité des accidents survenus sur ce type de stockage a donné lieu a des explosions suivi d'un incendie .Le matériel concerné par les accidents est : les réservoirs souterrains, les canalisations. Ces accidents font généralement suite à des défaillances humaines et matérielles ou bien à des conditions météorologiques défavorables.

L'analyse des causes des accidents qui est l'un des principaux objectifs du retour d'expérience montre que la majorité de ces accidents survenus sur ce type de stockage, a donné lieu à des fuites. Les causes importantes de ces fuites sont :

- 1- Des causes mécaniques reliées a la canalisation, les éléments les plus vulnérables du point de vue mécanique sont les vannes et les brides de raccords et leurs garnitures .Plus le nombre de vannes et de brides augmente plus la probabilité de fuite sera grande.
- 2- la corrosion
- 3- l'exploitation ; cette catégorie comprend les problèmes liés au fonctionnement et aux erreurs humaines.
- 4- les causes naturelles dues généralement aux instabilités du terrain (glissement de terrain).

4.5 Application de la méthode MADS MOSAR

Préalablement à la présentation des systèmes sources de danger, nous donnerons une brève description des principaux dangers cités-après liés au démantèlement du bac souterrain :

Risques liés au GNL

Le GNL à l'état liquide n'est ni inflammable ni explosif, lorsqu'il est réchauffé le GNL se transforme en gaz qui n'est explosif que s'il est confiné. Le gaz naturel n'est inflammable que dans une gamme étroite de concentration dans l'air (5%-15%).aux concentrations supérieures à 15 % .il n'y a pas assez d'oxygène pour entretenir la combustion et aux concentrations inférieurs a 5% le gaz est trop dilué pour pouvoir s'enflammer si une fuite se produit, les vapeurs de GNL seront dispersés par le vent, des vapeurs froides de GNL apparaitront sous la forme d'un nuage blanc. Une fuite de GNL en présence d'une source d'inflammation provoquera un incendie local. Le relâchement de GNL peut provoquer plusieurs dangers parmi ces dangers :

- Feu éclair : la plupart des nuages qui sont enflammés le sont à leur périphérie lorsque, durant la dispersion, le nuage rencontre une forte source d'inflammation (p.ex. flamme nue, moteur à combustion interne, étincelle).
- Si un nuage s'enflamme, il s'effectue un « retour de flamme » ou feu éclair à travers toute sa masse inflammable. Les feux éclair se déplacent à diverses vitesses à travers les nuages inflammables .plusieurs facteurs influent sur la vitesse de propagation d'un feu éclair : la vitesse intrinsèque de flamme de la substance, la concentration, la température, la vapeur d'eau condensée, le degré de turbulence de l'air et la présence d'obstacle qui peuvent augmenter la turbulence.

- Explosion d'un nuage de vapeur : une explosion d'un nuage de vapeur peut survenir lorsqu'une grande masse inflammable de vapeur d'hydrocarbure est enflammé dans un espace entièrement ou

Partiellement clos. La propagation du feu est lente dans les nuages de méthane (GNL).s'il n'y a aucun confinement ou congestion.

1. Les risques propres à la phase chantier :

- a. Risques de chutes de plein pied.
- b. Risques de chutes de hauteur.
- c. Risques dus à des effondrements, éboulements, chutes d'objets.
- d. Risques dus à l'utilisation des machines et d'outils.
- e. Risques d'électrification ou d'électrocution.

2. Les risques liés à la qualité de l'ouvrage :

Fragilité : La fragilité d'un matériau se définit comme l'impossibilité de se déformer de façon appréciable sans provoquer sa rupture. Un matériau fragile est donc un matériau cassant.

Dysfonctionnement des équipements : En cas de dysfonctionnement des organes de sécurité des installations du bac souterrain (vannes de sécurité, soupapes, thermocouple, jauge ...), le risque encouru est le dépassement de la P.M.S. (pression maximum du système) et donc le risque d'éclatement du bac et de la canalisation.

3. Défaillance de procédure et d'organisation - Erreur humaine

Certaines opérations effectuées pendant la mise hors service du bac nécessitent des procédures et une organisation particulières :

4. Interventions pour travaux de raccordement

Le raccordement de nouveaux ouvrages ou de déviations au réseau existant nécessite la réalisation des opérations suivantes :

- Isolement du tronçon de canalisation concerné par fermeture des robinets de sectionnement amont et aval,
- vidange du tronçon, ainsi isolé, à l'aide d'évents,
- découpe et dépose de la portion de canalisation ou d'ouvrage dont les travaux nécessitent l'élimination,

Ces différentes opérations correspondent à différents risques lors de la phase de vidange du tronçon de canalisation. Le risque principal est l'inflammation du panache de gaz à l'atmosphère avec ses conséquences thermiques.

5. La foudre

La foudre est un phénomène d'amorçage électrique qui peut se produire à partir de masses conductrices. Le risque d'un amorçage est d'aboutir à un percement de la canalisation, limité à un trou de faibles dimensions.

Des éléments fondamentaux d'une bonne protection contre les effets de la foudre est le réseau de terre. Son rôle est d'écouler les courants dans le sol, sans créer des différences de potentiels dangereux. Ce réseau doit être conçu pour offrir au courant de foudre le trajet le plus direct jusqu'à la prise de terre..

6. Electricité statique

L'électricité statique est une cause indirecte d'incendie. En effet, elle peut provoquer des étincelles qui interviennent comme énergie d'activation dans le triangle du feu. Un corps est capable de se charger électriquement par frottement, fractionnement et /ou contact. De nombreuses opérations sont génératrices d'électricité statique :

- transport de liquides dans des canalisations,
- remplissage et vidange de réservoirs contenant des liquides,
- utilisation de pistolets électrostatiques (peintures),
- fabrication et transport de matières pulvérisantes,
- détente de gaz comprimés ou liquéfiés et de jets de vapeurs, etc.

Pour prévenir de la formation ou l'accumulation des charges électrostatiques partout où elles sont susceptibles de se libérer, on adoptera certaines mesures de prévention,

- humidification de l'atmosphère,
- remplissage par le bas (en source) pour les liquides de préférence au remplissage par le haut (en pluie),
- augmentation de la conductibilité des corps isolants,
- mise à la terre,
- réduction des frottements,

7. Echauffements mécaniques

Les machines peuvent être le siège d'échauffements locaux. Ce dégagement d'énergie voit son origine dans le frottement en continu entre différents éléments matériels, souvent liés à des conditions anormales (par exemple arrêt du circuit de refroidissement).

Les températures atteintes peuvent être très élevées.

8. Imprudence des fumeurs

Il y a lieu d'attirer l'attention sur le danger des cigarettes et d'être intransigeant sur l'interdiction de fumer lorsqu'elle est prescrite.

9. Étincelles d'origine mécanique

La formation de ces étincelles se rencontre dans toute une gamme d'activités industrielles:

- a. coupage, sciage ou découpage à froid des métaux, perçage de trous dans un matériau
- b. abrasion, frottement de deux surfaces l'une contre l'autre,
- c. impact, utilisation d'outils à main, chute d'objets lourds...

La formation d'étincelles d'origine mécanique peut être réduite par la mise en œuvre de certains matériaux et matériels.

4.5.1 Etape préliminaire : décomposition du système

La décomposition systémique proposée ci-après repose principalement sur un découpage topologique, le système étudié est composé des deux sous systèmes suivants :

Phase de vie : Démantèlement

Ss1 : bac enterré

Ss 2 : canalisation et installations électriques

Ss 3 : environnement

Ss 4 : operateurs

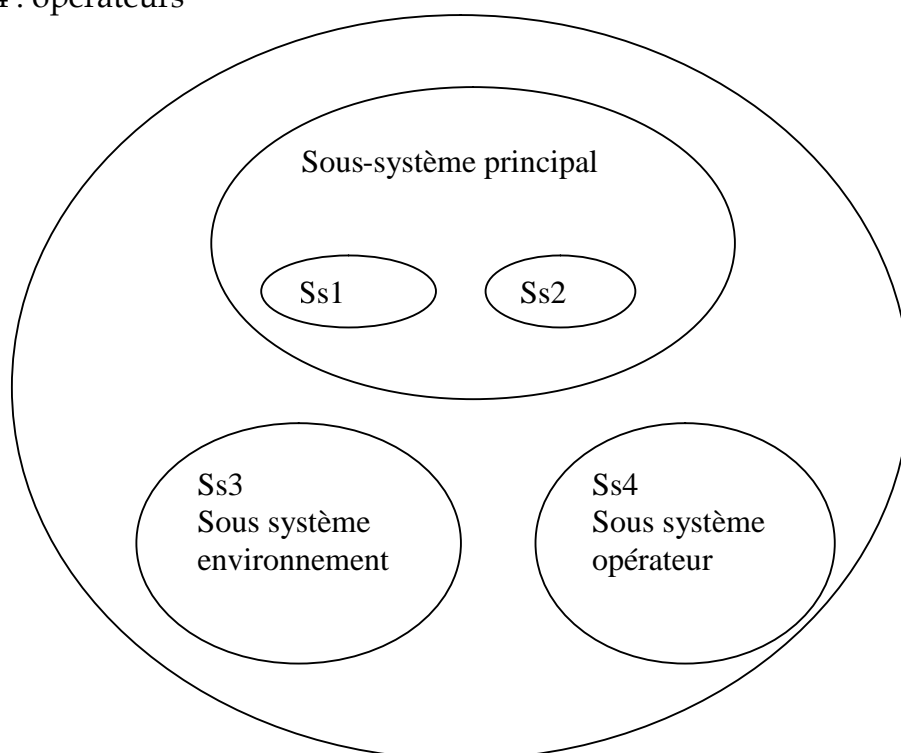


Fig. IV-3 Décomposition du système en sous -système

4.5.2 Identification des sources de dangers

Consiste à identifier les sources de dangers de chaque sous système, Cette étape est complétée par l'identification des processus de danger en cherchant Ligne par ligne quels sont les événements initiateurs qui peuvent être à l'origine de ces événements initiaux et quels sont les événements principaux que généreront ces événements initiaux. Chaque sous système va être modélisé sous formes de boite noire avec en entrée les événements initiateurs et en sortie les événements principaux

Types De Systèmes Sources De Danger	Phase De Vie	Evénement Initiateurs		Evénement Initiaux		Evénement Principaux
		EXTERNES (Environnement Actif)	INTERNES	LIES AU CONTENANT	LIES AU CONTENU	
Système SS1 : Le bac	De	EXTERNES (Environnement Actif)	INTERNES	LIES AU CONTENANT	LIES AU CONTENU	
Parois du bac	De	Vibrations excessives dû a la circulation des Véhicules et camions lourds	Réchauffement des parois du bac	Eboulement	//	Effondrement
Pompes	De		Cavitation de la pompe	Jauge défectueuse	Surchauffe du GNL dans la pompe	Implosion
Système de refroidissement	De	Mauvaise maintenance	Panne électrique	Arrêt	Dépassement de pression maximum du système	Eclatement du bac. Eboulement des parois.
soupape	De	Mauvaise maintenance	Dysfonctionnement Défaillance	Ouverture intempestive	Fuite GNL	Incendie

Tableau n° IV-4 : Identification des sources de danger du sous système 1

Types De Système Source De Danger	Phase De Vie	Evenement Initiateurs		Evenement Initiaux		Evenement Principaux
Système SS2 : canalisation et installations électrique	De	EXTERNES (environnement actif)	INTERNES	Lies Au Contenant	Lies Au Contenu	
Canalisation GNL	De	-Travaux de raccordement -Travaux de déviation du réseau -isolation du tronçon pendant la vidange. -purge avec l'azote liquide - 196°C	Fragilité du matériau Choc thermique	Rupture fissure	Panache de gaz fuite	Inflammation incendie
Sous-système électrique	De	Atmosphère humide des locaux	*Installation vétuste *Isolement défectueux du conducteur *résistance de contact mal établis	Court circuit	Echauffem ent dangereux des installations -étincelle	incendie

Tableau IV-5 : Identification des sources de danger sous système 2

Il est à remarquer qu'il existe deux circuits électriques. Un premier circuit lié au fonctionnement du bac et qui a été mis hors service avant le début des travaux de démantèlement. Le deuxième circuit ou circuit principal couvre tout le complexe. La source externe, la plus proche du bac, se trouve à 200 m de celui-ci.

Types De Système Source De Danger	Phase De Vie	Evénement		Evénement		Evénement Principaux
		Initiateurs		Initiaux		
Système SS3 : Opérateur	De	EXTERNES (environnement actif)	INTERNES	Lies Au Contenant	Lies Au Contenu	
Individuel	De	Personnel non qualifié /mal formé Négligence dans l'application des mesures de sécurité	Connaissanc e insuffisante des procédures. Pas de EPI ou pas utilisé.	Maladresse	//	Mort Blessure Chute intoxication asphyxie
Humain /social	De	Manque de communication Responsabilité non définie lors des procédures d'urgence.	Conflit Panique et maladresse	Acte de sabotage Mauvaise décision	//	Mort Blessure Chute intoxication asphyxie

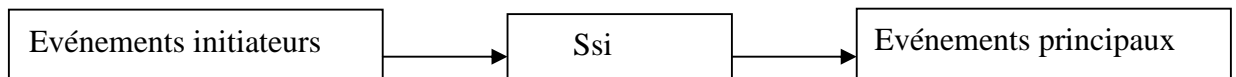
Tableau IV-6: Identification des sources de danger sous système 3

Types De Systèmes Sources De Danger	Phase De Vie	Evénement		Evénement		Evénement Principaux
		Initiateurs		Initiaux		
Système SS4 : environnement	De	EXTERNES Environnement Actif)	INTERNES	LIES AU CONTENANT	LIES AU CONTEN U	
sol	De	Camion de chargement Machine lourde Grue. Mauvaise gestion des rebuts	Fissuré Gonflé Terrain fragile Gene manque d'espace	Affaisseme nt de terrain	Effet domino	Explosion incendie Chute Blessure
Installation voisine	De	Séisme Corrosion	Eclatement	Réseau Incendie Insuffisant	Effet domino	Explosion incendie

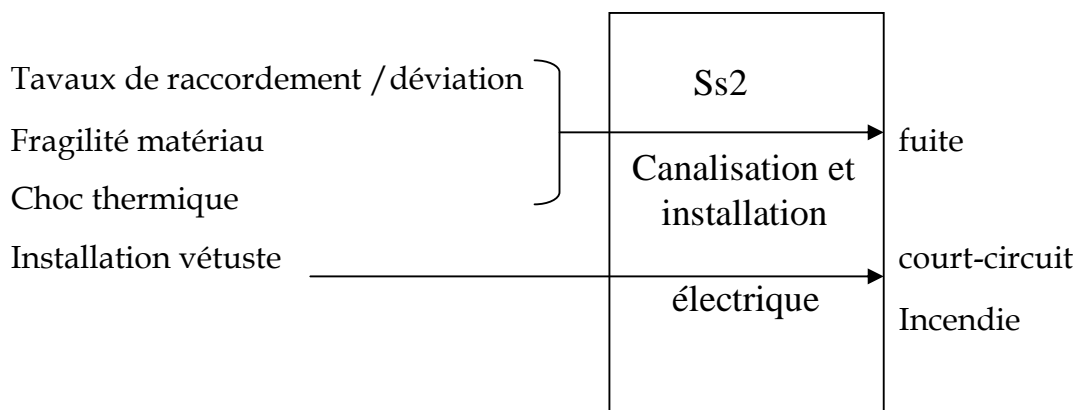
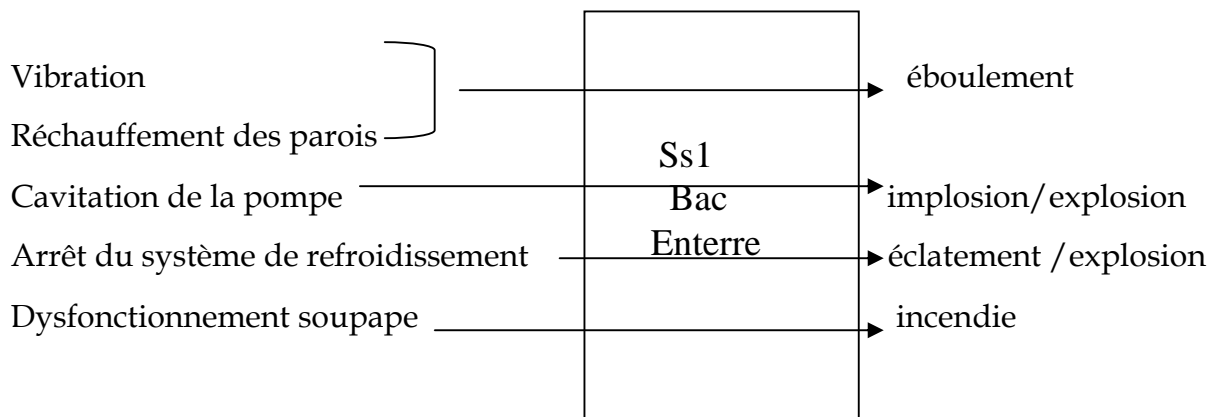
Tableau IV-7: Identification des sources de danger Ss4

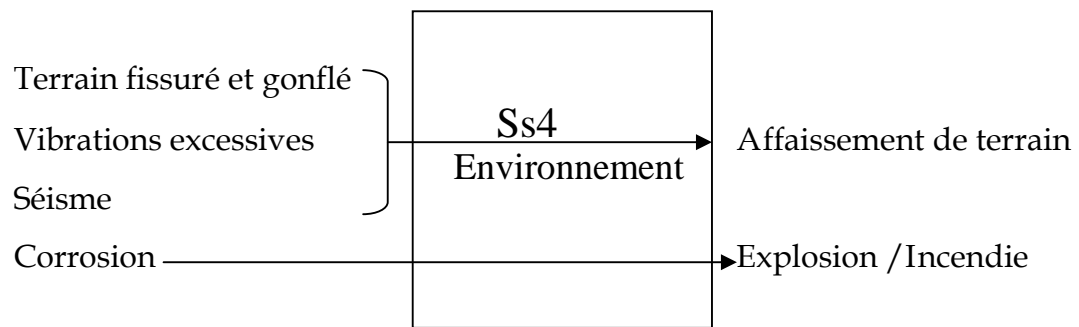
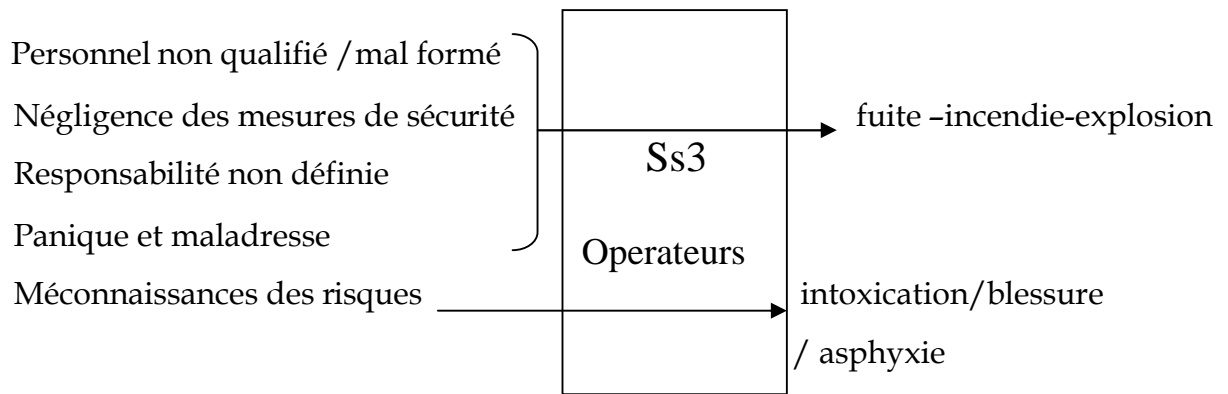
4.5.3 Identification des scénarios de danger :

On représente les tableaux d'identifications des sources de dangers des sous systèmes sous forme de boites noires dont les entrées sont des événements initiateurs d'origine externe ou interne et les sorties sont les événements principaux.



On obtient les différentes boites suivantes :





On réécrit ces scénarios de la manière suivante afin de pouvoir réaliser les arbres des causes et de quantifier ces risques.

Scénarios courts :

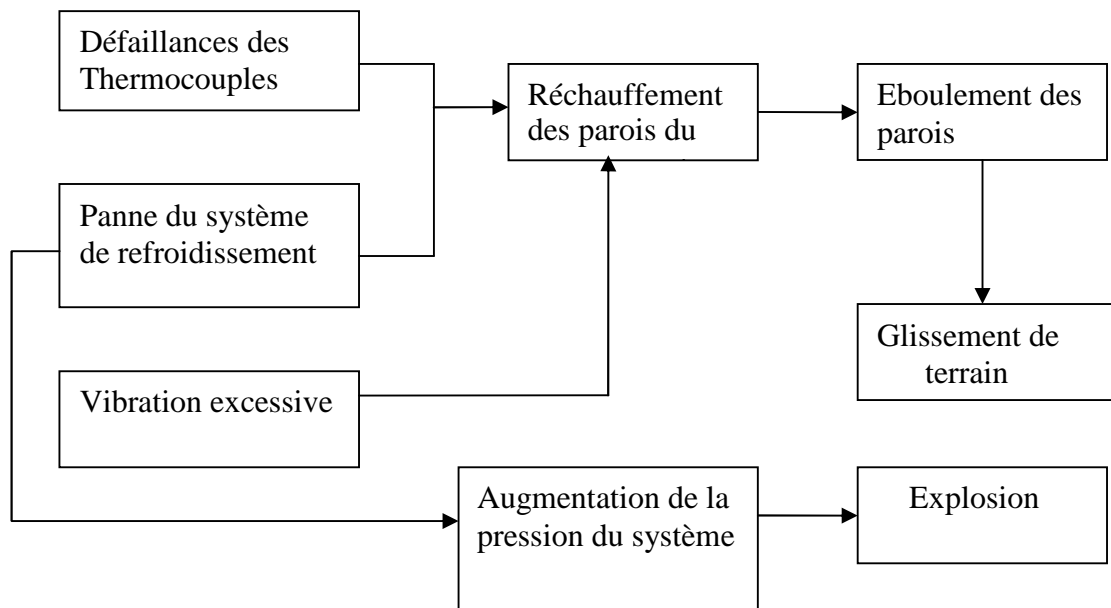


Fig. IV-4 Scenario 1 du sous-système bac enterré

Commentaire : l'augmentation de la température des parois du bac due à une panne du système de refroidissement peut conduire à un éboulement des parois. La circulation des véhicules (camion, grue) lourd autour du bac et la fragilité du terrain peut augmenter le risque d'un affaissement ou un glissement de terrain. Aussi une panne du système de refroidissement peut conduire à une augmentation de la pression interne du système, ce qui peut provoquer un éclatement ou une explosion.

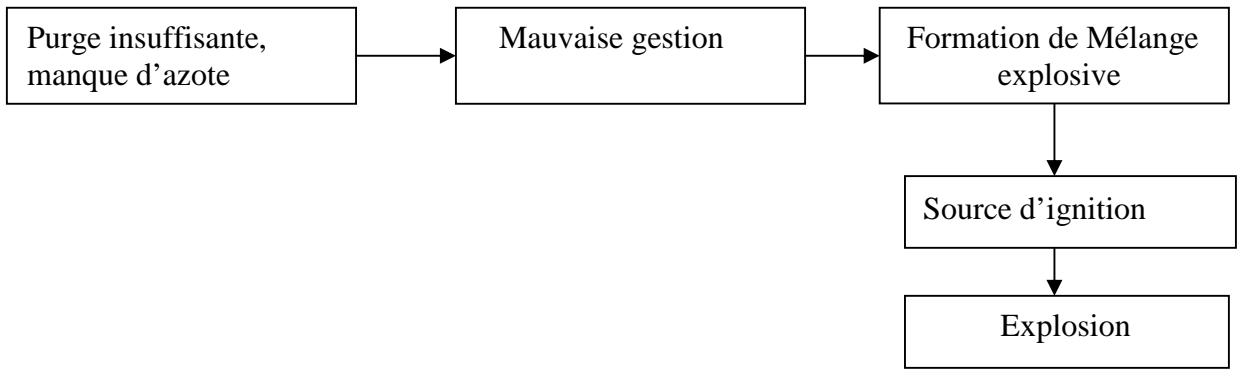


Fig. IV-5 Scenarios 2 du sous-système bac enterré

Commentaire : une purge insuffisante peut être due soit à un éclatement du flexible (vétuste ou non-conforme), ce qui peut conduire à des fuites d'azote ou bien à un manque de fourniture ou d'apport d'azote pour la purge. Cette insuffisance peut mener à la formation d'un mélange explosif et, en présence d'une source d'ignition ou d'inflammation (foudre, électricité statique, échauffement mécanique, étincelle d'origine mécanique, imprudence des fumeurs) peut provoquer l'explosion du système.

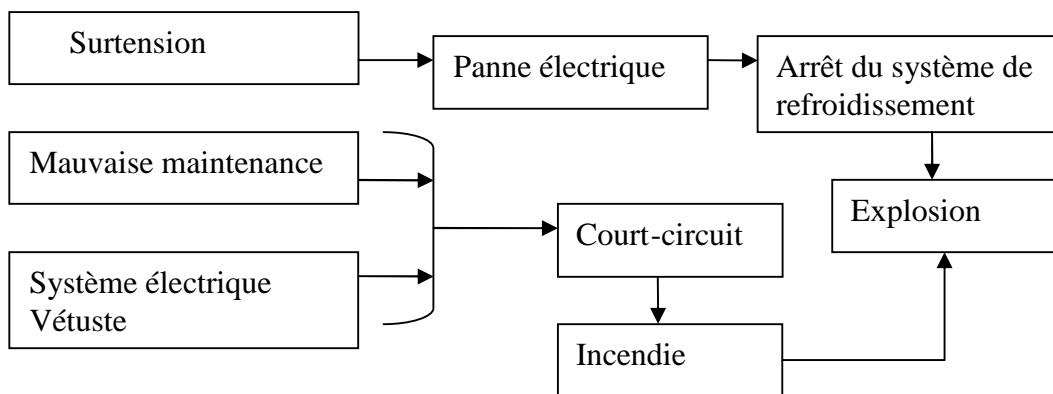


Fig. IV-6 Scenario 3 du sous-système canalisation

Commentaire : les incendies provoqués par l'électricité sont fréquents, ils surviennent le plus souvent en raison de la vétusté et du caractère improvisé des installations, de l'isolement défectueux des conducteurs, de leur surcharge, de la

résistance de contacts mal établis, qui provoquent des échauffements dangereux ou par des installations non appropriées aux atmosphères des locaux (ambiance explosive ou humide).

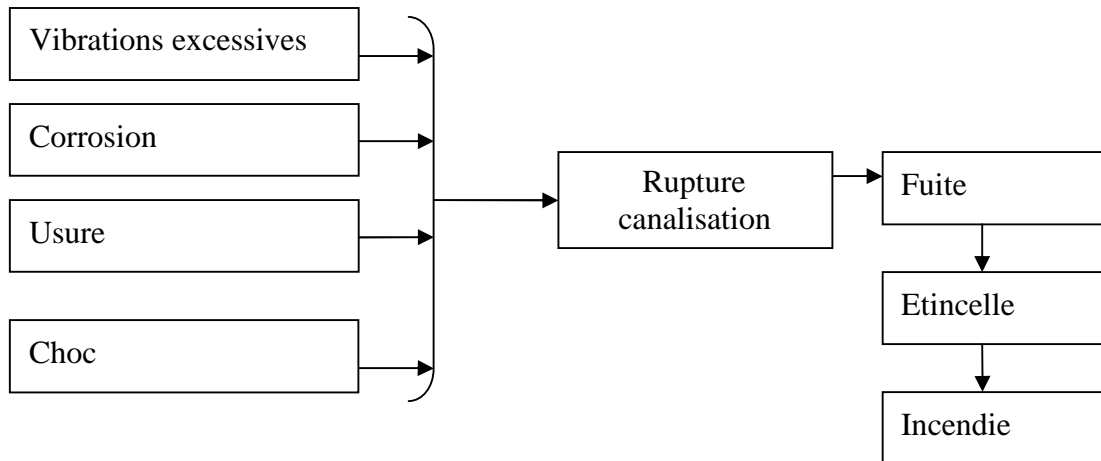


Fig. IV-7 Scenarios 4 du sous-système canalisation

Commentaire : la corrosion et le caractère vétuste (fragilité du matériau) rend les canalisations (pipe, tuyauteries) vulnérables aux chocs (mécanique ou thermique) et aux vibrations résultantes de la circulation des véhicules lourds (camions, grue..) ce qui peut conduire à une fuite ou à un rejet de gaz en présence d'une source d'inflammation provoquant l'incendie.

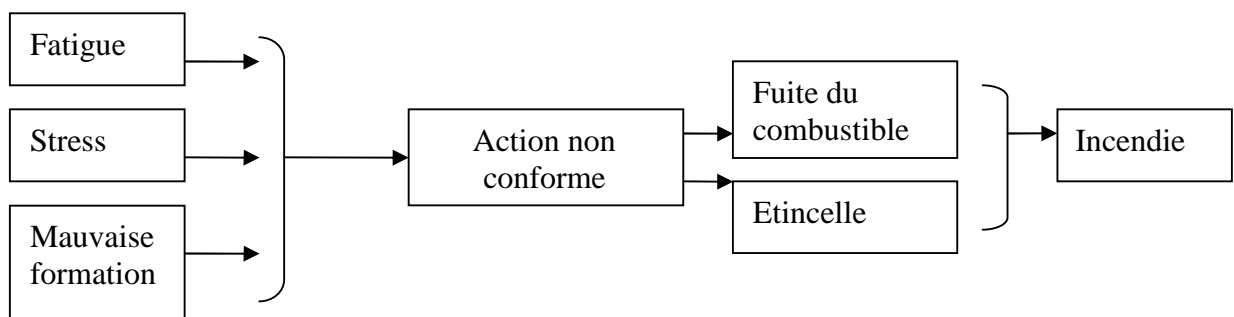


Fig. IV-8 Scenarios 5 du sous-système opérateur

Commentaire : la fatigue, le stress, la malveillance, la mauvaise communication et l'absence de formation sont tous des facteurs qui peuvent mener à des actions non conforme à la réalisation de certaines procédures liées au démantèlement du bac et qui nécessitent des interventions particulières.

Nous avons déterminé quelque scénario court. Il est possible de relier les événements initiateurs qui ont les mêmes événements principaux pour donner des scénarios longs. Lesquels vont nous aider à la réalisation de l'arbre de causes.

Scénarios longs :

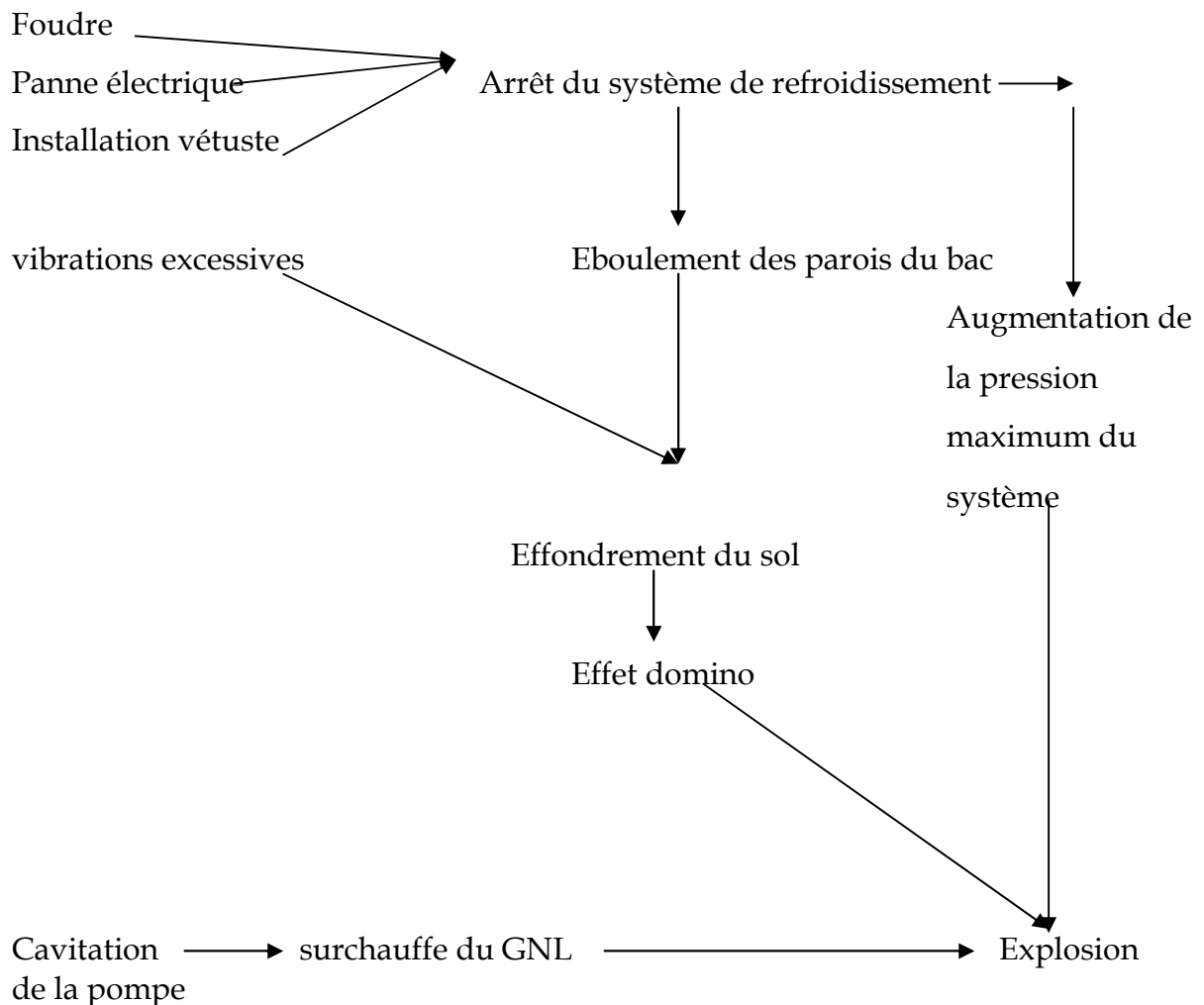


Fig. IV-9 Scénarios long n°1 Effondrement + Explosion

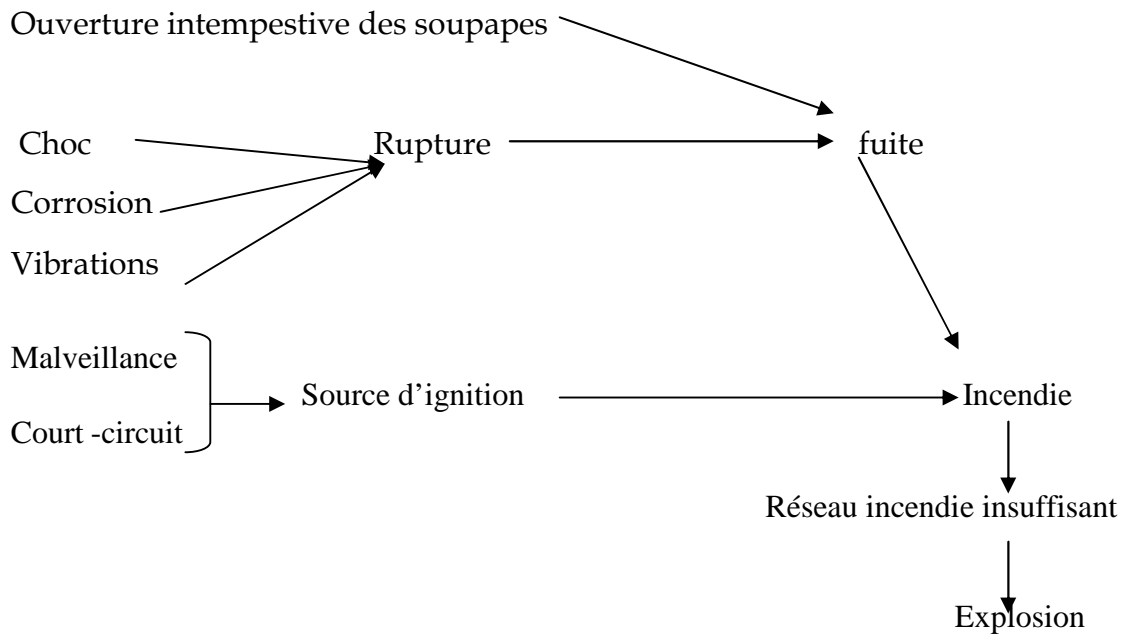


Fig. IV-10 Scénarios long n°2 incendie + Explosion

4.5.4 Construction des arbres des causes :

La genèse de ces scénarios conduit par enchainement à la structuration d'arbre des causes dont l'événement final est un accident majeur.

Les événements majeurs liés à ce type de stockage souterrain sont essentiellement :

- Les Explosions
- Les incendies
- L'effondrement ou glissement de terrain.

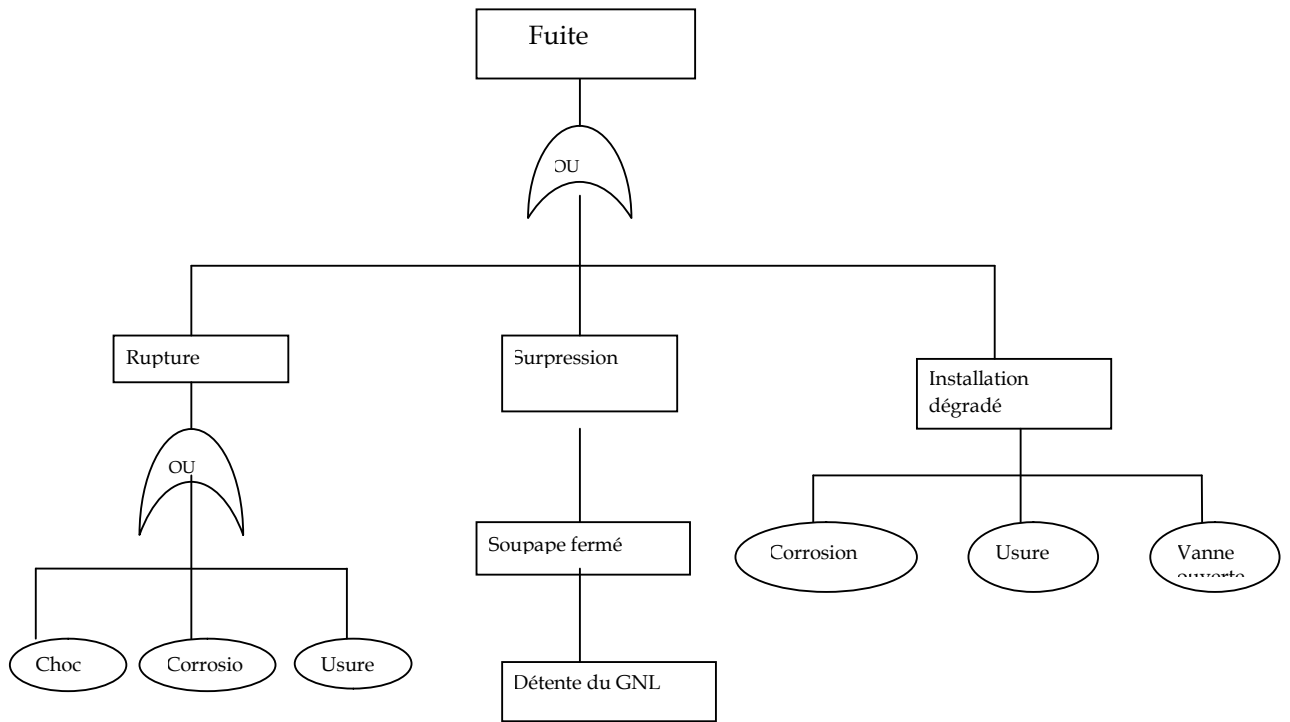


Fig. IV-11 Arbre des causes d'une fuite

Commentaire : il s'agit de décrire l'enchaînement de causes à partir d'événements initiateurs susceptibles d'avoir amenés le système à l'accident. Dans ce cas la présence d'une fuite peut être due soit à la fragilité du matériau (corrosion, l'usure ou bien Choc mécanique ou thermique), soit dû à une surpression à cause de l'augmentation de la pression ou bien d'un débit élevé.

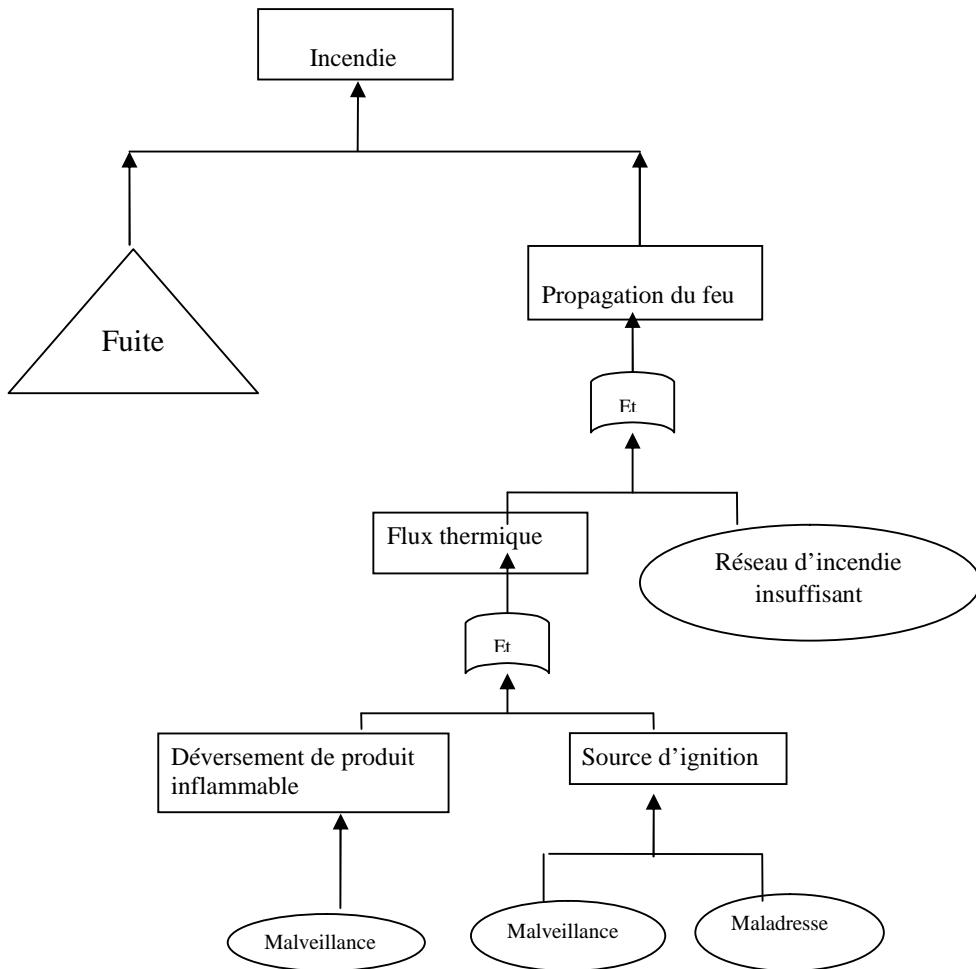


Fig. IV-12 Arbre de cause d'un incendie

Commentaire : certaines conséquences accidentelles sont initiées par des actions humaines directes et qui font partie des événements initiateurs. Dans ce cas l'événement indésirable ici est l'incendie. La présence d'une fuite ou bien d'un déversement de produit inflammable (fût de gasoil, essence....) à cause d'une maladresse ou bien d'une malveillance, peut conduire à un grave incendie en présence d'une source d'inflammation.

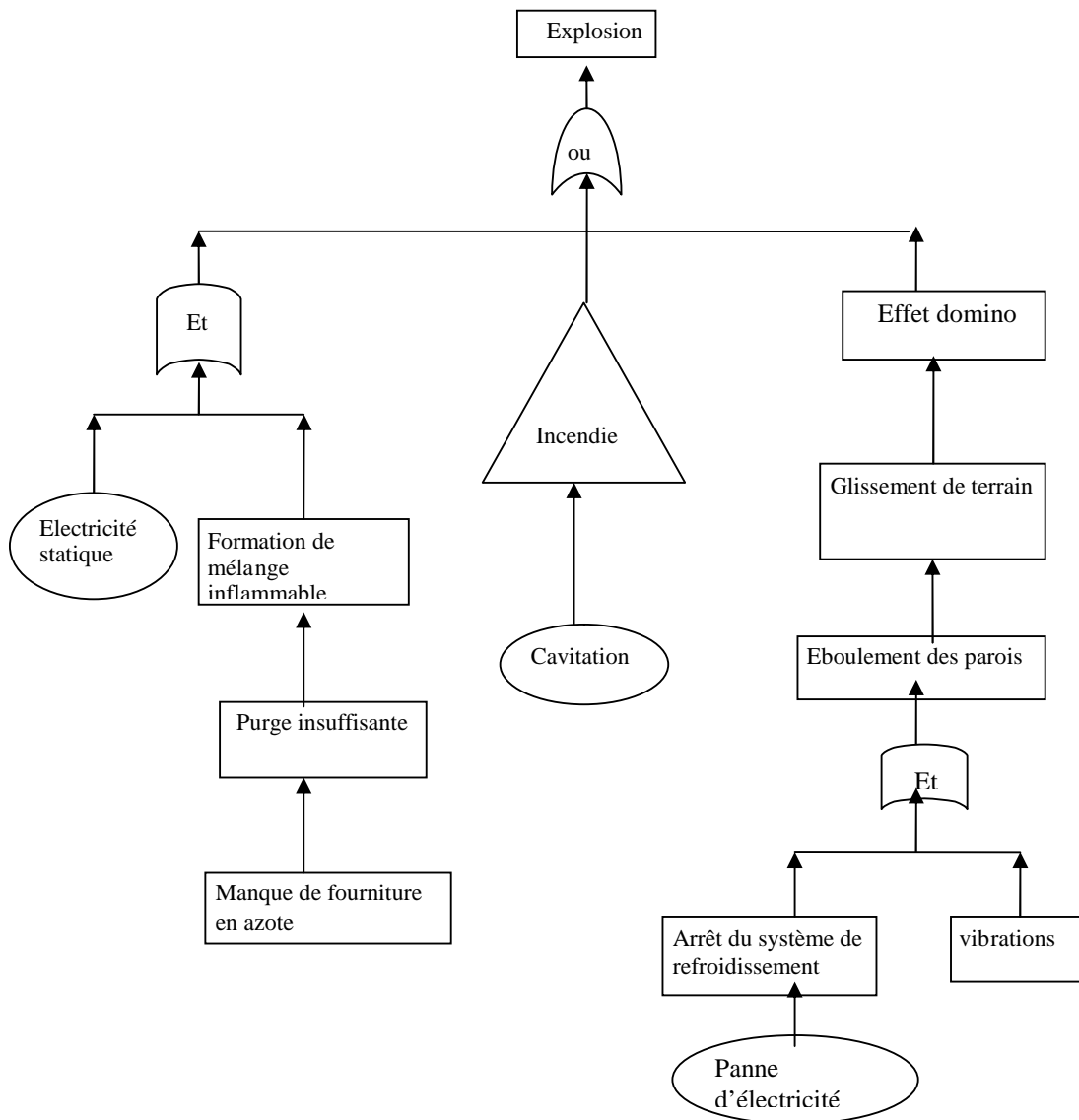


Fig. IV-13 Arbre de cause d'une explosion

Commentaire : L'événement indésirable majeur est l'explosion ou l'éclatement du bac. Ceci peut être dû à des défaillances des organes de sécurité (système de refroidissement) ou bien d'autres équipements comme les pompes (cavitation provoquant une surchauffe du GNL à l'intérieur du bac), ceci mène à une explosion. Aussi une purge insuffisante due à un manque d'azote peut conduire à la formation d'un mélange explosif.

L'explosion et l'incendie seront des événements majeurs non souhaités mais avec une portée sans grande conséquence pour l'environnement, la population et les infrastructures qui se trouvent au voisinage, car le bac est entièrement vidé avant son démantèlement. L'explosion et l'incendie toucheront essentiellement les techniciens chargés des opérations du démantèlement. Ils seront assurés en conséquence.

4.5.5 Négociation d'objectifs et hiérarchisation des scénarios

Le risque est représenté par une grandeur à deux dimensions qui caractérise un événement indésirable par son niveau de gravité (dommage aux personnes, dégât aux équipements, aux biens et à l'environnement) et par son niveau de probabilité. Le niveau de risque résulte de la combinaison des deux niveaux en formant une grille PXG qui doit permettre après réflexion de supprimer ou de réduire les risques les plus élevés (forte probabilité et conséquence importante). Une fois la grille établie, Les scénarios construits sont situés dans celle-ci. Leur évaluation en probabilité est souvent qualitative.

4.5.5.1 Définition des niveaux de probabilité et de gravité :

En se basant sur les définitions les plus courantes dans la bibliographie, nous avons choisis six niveaux de probabilité et de gravité qui peuvent être établies pour caractériser l'occurrence et les conséquences possibles d'un événement indésirable.

Niveau 1	Événement improbable ($P < 10^{-10}$ par heure) moins d'une fois tous les 114 siècles
Niveau 2	Événement extrêmement rare ($10^{-10} < p < 10^{-8}$ par heure) au plus une fois tous les 114 siècles
Niveau 3	Événement rare ($10^{-8} < p < 10^{-6}$ par heure) au plus une fois tous les 114 ans
Niveau 4	Événement possible mais peu fréquent ($10^{-6} < p < 10^{-4}$ par heure) au plus une fois tout les 14 mois.
Niveau 5	Événement fréquent ($10^{-4} < p$) soit plus d'une fois tous les 14 mois
Niveau x	Événement auquel on ne peut pas attribuer de probabilité (attentat, effet d'arme lourde, chute d'avion, etc.)

Tableau IV- 8 Définition de la probabilité de l'événement indésirable

Niveau 0	Conséquences nulles : ce niveau caractérise les événements fonctionnant normalement pendant le fonctionnement de l'installation
Niveau 1	Conséquences mineurs : il n'y a ni dégradation sensible des performances du système, ni interruption de la mission, ni blessure de personnes, ni endommagement notable de l'installation
Niveau 2	Conséquences significatives : il y'a dégradation des performances pouvant entraîner l'interruption de la mission, mais il n'y a pas de blessure de personnes ni endommagement notable d'installation
Niveau 3	Conséquences Critiques : il peut y'avoir blessure du personnel et/ou endommagement de l'installation
Niveau 4	Conséquences catastrophiques avec effet limités à l'usine : destruction de l'installation et/ou d'installation voisines et/ou plusieurs blessés graves et/ou mort de personnes.
Niveau 5	Conséquences catastrophiques avec effets extérieurs à l'usine : il y'a dommage à des personnes et/ou à des biens extérieurs à l'usine.

Tableau IV-9 Définition des conséquences de l'événement indésirable

0X	1X	2X	3X	4X	5X
05	15	25	35	45	55
04	14	24	34	44	54
03	13	23	33	43	53
02	12	22	32	42	52
01	11	21	31	41	51

Fig. IV- 14 Grille de criticité probabilité x gravite

Nous allons maintenant situer nos scénarios dans la grille. Le but est de supprimer ou réduire les risques élevés. L'action à mener est soit d'abaisser la probabilité d'occurrence par l'amélioration des procédures (accroissement de fiabilité des éléments les plus faibles, utilisation de redondance.....), soit de diminuer les conséquences des incidents et accidents par utilisation des équipements de protections collectives ou individuelles.

		Sc3	Risque		
		Sc4	Inacceptable		
		Sc5		Sc2	
				Sc1	
Risque acceptable					

Fig. IV- 15 Situation des scénarios avant la mise en place des barrières

4.5.6 Définition des moyens de prévention et de protection

Cette partie consiste à identifier les barrières de prévention et de protection nécessaires pour réduire ou supprimer les scénarios des risques identifiés précédemment. Les barrières de prévention agissent en vue de prévenir ou limiter l'occurrence de L'événement redouté, et les barrières de protection visent à diminuer les conséquences de L'événement redouté central par atténuation ou intervention. Ces barrières peuvent être des barrières organisationnelles de sécurité (action humaine respectant ou non une procédure) ou des barrières techniques de sécurité (BTS).

TABLEAU B :					
scénarios	événement	Phase De vie	1- Barrières de Conception	2-ventilation	3 Protection Individuelle du personnel
Sc1	Effondrement	DE	Maintien de la température	Purge avec l'azote (Inertage)	Masque d'oxygène dans les points d'injection d'azote (BU).
Sc2	Explosion	DE	Explosimètre (BT) pour mesuré le taux d'oxygène	Inertage	Port d'équipement des EPI appropriés
Sc3	Explosion	DE	Générateur de secoure (BT)		Port d'équipement des EPI appropriés
Sc4	Incendie	DE	Dispositif fixe pour la lutte contre l'incendie		Port d'équipement des EPI appropriés
Sc5	Incendie	DE	Détecteur de fuite Eviter les travaux au burin pour ne pas détériorer la tuyauterie		Port d'équipement des EPI appropriés

Tableau IV- 10 Identification des barrières

scénarios	événement	Phase De vie	4 Consignes	5 consignations	6 Procédure
Sc1	Effondrement	DE	Consigne de sécurité d'évacuation	Procédure de consignation en phase incident elle	Procédure d'évacuation
2	Explosion	DE	Consigne de sécurité d'évacuation	Procédure de consignation en phase incident elle	Procédure d'évacuation
Sc3	Explosion	DE	Consigne de sécurité d'évacuation	Procédure de consignation en phase incident elle	Procédure d'évacuation
Sc4	Incendie	DE	Consigne de sécurité d'évacuation en cas d'incendie	Procédure de consignation en phase incident elle	Procédure d'extinction
Sc5	Incendie	DE	Consigne de sécurité d'évacuation en cas d'incendie	Procédure de consignation en phase incident elle	Procédure d'extinction

Tableau IV- 11 Identification des barrières

scénarios	événement	Phase De vie	7 Formation des opérateurs	8 Comportement humain	9 Habilitation
Sc1	Effondrement	DE	Formation en sécurité industrielle.	Travail en groupe deux et plus. Signaler toutes anomalies immédiatement	
Sc2	Explosion	DE	Connaître les symptômes d'asphyxie/ brûlure dû a la cryogénie	Travail en groupe deux et plus. Signaler toutes anomalies immédiatement	
Sc3	Explosion	DE	Formation en sécurité industrielle	Travail en groupe deux et plus. Signaler toutes anomalies immédiatement	
Sc4	Incendie	DE	Formation au risque d'incendie	Travail en groupe deux et plus. Signaler toutes anomalies immédiatement	
Sc5	Incendie	DE	Formation au risque d'incendie	Travail en groupe deux et plus. Signaler toutes anomalies immédiatement	

Tableau IV- 12 Identification des barrières

scénarios	événement	Phase De vie	10 Réglementation Et normes	11 Contrôle et vérification technique	12 maintenance
Sc1	Effondrement	DE	S'adapter	Contrôle périodique des équipements de détection et de surveillance	
Sc2	Explosion	DE	S'adapter	Calibrage et étalonnage des équipements de mesures	
Sc3	Explosion	DE	S'adapter	Contrôle des installations électrique	
Sc4	Incendie	DE	S'adapter	Contrôle des installations électrique	
Sc5	Incendie	DE	S'adapter	Contrôle périodique de l'état des conduites	

Tableau IV- 13 Identification des barrières

scénarios	événement	Phase De vie	13 Télésurveillance	14 Balise accès circulation	15 Influence sur l'environnement
Sc1	Effondrement	DE		Zone de réclusion de 25 m autour du bac pour interdire l'accès des véhicules	Effet domino
Sc2	Explosion	DE		Accès limités aux personnels essentiels	Effet domino
Sc3	Explosion	DE			Effet domino
Sc4	Incendie	DE			Effet domino
Sc5	Incendie	DE			Effet domino
Sc6	Incendie	DE			Effet domino

Tableau IV- 14 Identification des barrières

4.5.7 Qualification des moyens de prévention :

Toutes les barrières nouvelles devront être rendues pérennes en les traitant avec leur tableau de qualification. Dans tout les cas on peut organiser ces barrières en reprenant et en poursuivant la stratégie de défense en profondeur.

TABLEAU C					
Barrières de conception	Scénarios	Type	Elément de conception de ces barrières	Contrôle et vérifications techniques	maintenance
Eviter la limite d'inflammabilité En diminuant le taux d'oxygène	Sc1	BT	Explosimètre	Vérification de fonctionnement Calibrage	préventive
Générateur de secours	Sc2	BT	Elément fiable	Vérification périodique	Mis en compte
Dispositif fixe pour la lutte contre l'incendie	Sc3	BT	Elément fiable	Vérification périodique	Mis en compte
Détecteur de fuite	Sc4	BT	Elément fiable	Calibrage	préventive

Tableau IV- 15 Qualification des barrières identifiées

	Sc3				
	Sc4			Inacceptable	
		Sc 5	Sc2		
				Sc 1	
Acceptable					

Fig. IV-16 Situation des scénarios après la mise en place des barrières de prévention

A la fin de cette analyse nous présentons la nouvelle grille pour voir si les scénarios considérés présentent un risque acceptable ou non par rapport aux nouvelles barrières mises en place.

On constate qu'un scénario reste du côté des risques inacceptables. Ce risque reste important vu la dégradation du sol.

4.5.8 Conclusion

L'application de la méthode MADS MOSAR a permis de définir quelque scénario de risque majeur et d'établir des barrières de protection et de prévention afin de réduire et limiter ces risques.

La gestion des barrières entrera dans le domaine technologique où il est important de préciser au niveau des scénarios, le caractère préventif ou protecteur de la barrière.

Les barrières de prévention limitent l'occurrence des initiateurs et les barrières de protections sont réservées aux moyens de secours et de refuges.

Le facteur humain est considéré comme étant un initiateur d'accident et comme élément de rattrapage c'est-à-dire barrière qui dépend de plusieurs facteurs comme :

- Le niveau de formation initial
- La complexité de la tâche
- Le temps de réponse disponible ou bien le temps de réaction
- La réaction individuelle et la perception du danger.
- La qualité ergonomique des installations.
- La qualité des aspects sociaux (qualité des relations dans le collectif).

5-1 Introduction

L'exploitation des réservoirs souterrains de gaz et de pétrole s'accompagnent comme toute activité géologique d'une modification de contraintes internes, de déformation, de déplacements des roches de couverture ou profondes et L'apparition de zones excessivement fissurées et perméables

Autrement, de nouvelles voies d'écoulements des fluides et de glissements de terrain en surface apparaissent. Ces mouvements de terrain plus ou moins brutaux du sol ou du sous sol sous l'effet d'influence naturelle ou anthropique véhiculent diverses manifestations, lentes ou rapides en fonction des matériaux considérés et de leur structure. Les mouvements lents entraînent une déformation progressive des terrains, pas toujours perceptible par l'homme. Ils regroupent des affaissements, des glissements et le retrait -gonflement des argiles ...etc.

La nature et l'intensité de ces phénomènes géo mécaniques¹⁴ déterminent en grande partie le niveau de sécurité environnementale et industrielle des sites.

5 -2 Les déformations structurelles de la roche lors de l'exploitation

L'état du sol environnant du bac au début de sa construction et lors de son exploitation, (indiqué auparavant) a subi des déformations qui ont fait apparaître des zones fissurées à des distances variables. Les principales causes qui ont provoquées ces déformations sont:

1. En début de gel il y'a eu une forte aspiration à la base du réservoir dû aux mouvements d'eau, cette eau a crée de très importantes pressions qui ont soulevées le réservoir fig. VI-1
2. La formation de glace et sa propagation due à la congélation de l'humidité de la terre, a entraîné une augmentation de volume et a causé le soulèvement du réservoir.
3. L'hétérogénéité de la roche a engendré des poussées inégales de part et d'autre et a provoque des fissures.

¹⁴ La géomécanique s'intéresse aux phénomènes de déformation et d'altération des roches et des masses rocheuses résultant des activités industrielles de l'exploitation des divers types d'équipements souterrains. Elle s'intéresse particulièrement aux terrains rocheux qui se trouvent aux contacts directs des équipements souterrains

La présence de plusieurs fuites, surtout au niveau de la périphérie du toit indique que le sol a subi des déplacements ou un glissement de terrain entraînant des cavités souterraines.

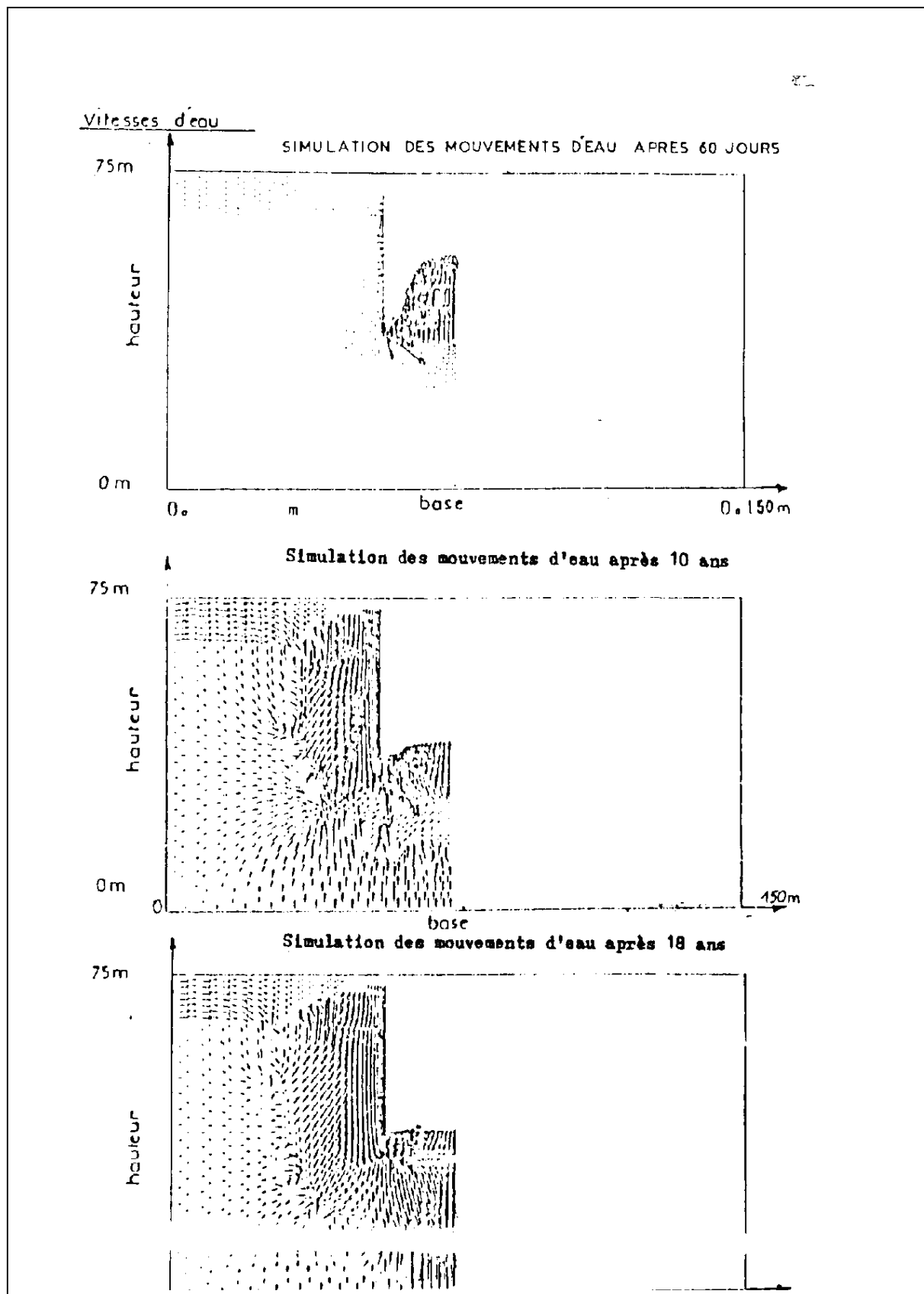


Fig. V.1 Simulation des mouvements d'eau souterraine

5-3 Les déformations structurelles de la roche après sa mise hors service.

Après avoir démantelé le bac et comblé la cavité avec du remblai, le sol se réchauffe graduellement en contact de la terre, entraînant la fonte graduelle du bloc de glace. Cette eau résultant de la fonte se répandra dans la nappe d'eau souterraine provoquant l'apparition des cavités souterraines (hydrogéologie) par dissolution du matériau constituant la roche ou par érosion provoquée par la vitesse d'écoulement d'eau.

Les effets du gel provoquent de profondes modifications de la structure du sol et donnent un véritable brassage dû aux mouvements excessifs de la glace. La couche du réservoir est constituée principalement de roche sédimentaire composée de sable, grés friable, d'argile et de marne.

Profondeurs (mètres)	Terrains traverses
0.00-1.80 m	Remblais rocheux
2.40 m	Sable gris légèrement jaunâtre
4.00 m	Grés jaune tendre (friable)
4.50 m	Grés sableux à coquille fissurés
4.85	Grés coquillier fissurés
5.65 m	Argile molle avec petit morceau de marne et de grés coquillier
6.30 m	Marne bridée légèrement plastique
6.40 m	Veine de marne sableuse
8.30 m	Marne un peu argileuse grise
22.00 m	Marne grise dure

Tableau V-1 La coupe géologique du bac

Le gré est issu de l'agrégation et la cimentation des grains de sable composés souvent de silice. Le ciment peut être composé de calcaire ou d'argile. Ce matériau peut subir une altération rapide par la circulation de l'eau dans les pores et par le gel (dissolution de calcaire ou déchaussement d'argile). Le gré en s'altérant peut redevenir sable.

La marne roche sédimentaire contient du calcaire et de l'argile en quantités à peu près équivalentes (35%-65%).

Le retrait et le gonflement des argiles sont liés aux variations en eau du terrain. Le manque d'eau entraîne un tassement irrégulier du sol en surface. A l'inverse, un nouvel apport d'eau produit un phénomène de gonflement.

5.4 Les risques liés à un affaissement de terrain

Les affaissements ne présentent en général pas de risques pour les personnes. Ils peuvent avoir des conséquences néfastes sur les installations près de la zone remplie, comme le pylône de la torche froide, les compresseurs, les pipes et canalisations enterrés.

5.4.1 Retour d'expériences des Accidents dus à un mouvement de terrain

Les accidents présentés proviennent des bases de données ARIA du BARPI, MARS, FACTS.

LIEU ET DATE	DESCRIPTION
Le 11 mars 1992, à Bapaume (62) France	Un affaissement de terrain provoque la rupture d'une canalisation dans une station-service ;2 000 L d'essence sans plomb se déversent dans le sous-sol (6 600 L de gazole, 12 000 L de super, et 2 000 L d'essence sans plomb restent dans les cuves). Une déviation est mise en place et les pompiers épandent de la mousse carbonique pour éviter tout risque d'explosion. Par mesure de sécurité, l'alimentation en eau potable de la ville est branchée sur un autre réseau
Le 19 avril 2000, à Remire-Montjoly	Un glissement de flanc de colline (Mont Cabassou) évalué à 400 000 m ³ de terre (12 m de haut, 80 m de large) recouvre en partie une route et détruit partiellement une usine de produits laitiers (yaourts). Le plan rouge est déclenché durant 5 jours. Dix personnes sont tuées et 8 autres sont hospitalisées. La catastrophe pourrait être due aux précipitations supérieures à la normale qui sont tombées sur la région depuis janvier 2000. Un arrêté pris le 8 juin constate l'état de catastrophe naturelle (mouvements de terrain).
Le 13 mai 1999 - Pérou Amazone	Un pipeline transportant 80% de la production de pétrole péruvienne est fermé pour une durée de 12 jours à la suite

	d'un glissement de terrain. Il s'agit d'un des plus sérieux incidents selon la société péruvienne
Le 3 juillet 1998, dans l'Equateur à Esmeraldas	A 3 km du site d'une rupture survenue 6 mois auparavant à la suite d'un glissement de terrain, au niveau du franchissement d'un ruisseau, un oléoduc est à nouveau rompu dans les mêmes circonstances et 1 700 t de pétrole s'écoulent vers le mer, polluant 100 km de côte. La fermeture d'une vanne installée à la suite du premier accident a permis de limiter les dégâts. Il n'y a pas de victime. Des barrages, des produits absorbants ou dispersants et du matériel de récupération des hydrocarbures sont mis en place. La côte colombienne est polluée. Son nettoyage est financé par l'exploitant.
27 février 1998 dans l'Equateur, à Esmeraldas	A la suite de pluies torrentielles liées au phénomène climatique El Nino, un glissement de terrain provoque la rupture d'un oléoduc à une douzaine de kilomètres du terminal portuaire de 500 km, acheminant le pétrole de l'Amazonie vers la côte Pacifique. Environ 2500 m ³ de pétrole se déversent dans les rivières et dans l'océan ; une explosion et l'incendie qui suit, détruisent 160 habitations. L'incendie se propage jusqu'aux quais du port, mais épargne la raffinerie et un gazoduc. Des flammes de 10 m sont observées. Sept personnes sont tuées, 110 autres sont blessées dont 40 brûlées à 50 %, 40 ont disparus et 600 personnes sont évacuées. L'intervention qui dure 6 heures est contrariée par un manque d'eau à la suite de la rupture des canalisations.
Le 31 janvier 1997 à Valdoie (90)	A la suite d'un mouvement de terrain provoqué par le gel, une conduite enterrée reliant une cuve de fuel à une chaudière se rompt. Une quantité indéterminée d'hydrocarbures se déversent dans un collecteur d'eaux

	pluviales puis dans la ROSEMONTTOISE.
Le 05 mai 1996, en Ukraine à Lissitchansk	A la suite d'un mouvement de terrain, le principal pipeline transcaucasien se rompt et 500 t de pétrole brut se répandent sur le sol et dans la rivière proche et s'enflamment. La plus grande partie du site est nettoyée. La raffinerie est peu affectée par l'arrêt de cet approvisionnement.
Le 23 novembre 1993, à Paris	Alors que la ré épreuve d'une cuve de 60 m ³ de fuel domestique alimentant une chaufferie Située au 4 ^{ème} sous-sol d'un parc de stationnement est en cours, un effondrement de terrain provoque l'effondrement d'une dalle de béton sur le réservoir. La cuve ne semble pas avoir été atteinte mais un risque de déplacement des canalisations de la chaufferie est redouté. Par mesure de sécurité, le réservoir est vidé, dégazé et enlevé. L'alimentation de la chaufferie, assurée par une autre cuve de 60 m ³ , n'est pas perturbée.
Le 25 janvier 1985, au Brésil, à Cunbatao	Dans une usine de fabrication d'engrais, la rupture d'une canalisation à la suite d'un glissement de terrain entraîne l'émission d'ammoniac à l'atmosphère ; 300 personnes sont Intoxiquées dont 30 à 67 plus gravement (selon la source de l'information) et 5000 sont Évacuées.
Le 25 mars 1983 en Californie	Environ 42000 gallons de pétrole brut s'est déversés d'un pipe à Clayton (Californie) Lorsqu'un glissement de terrain, provoqué par de fortes pluies, a plié et rompu un pipe souterrain de 20" appartenant à la société Getty Trading and Transportation de Denver (Colorado). Des résidents témoignent avoir senti une mauvaise odeur et avoir vu du pétrole se répandre dans la rue. Immédiatement après le

	<p>début de la fuite, le département des travaux publics de Clayton a commencé à construire une tranchée autour de la zone de la fuite. Mais, étant donné la pente, la tranchée fut sous-estimée et 8000 gallons s'écoulèrent vers le bas de la colline. Ils se jetèrent dans une rivière puis atteignirent le marais d'eau salé à reflux de Hasting Slough. On installa 35 barrages flottants en divers points de la rivière sur 14 kilomètres. Mais, le courant était tel que le pétrole brut est passé sous ces barrages et a atteint le marais. On estime que les nappes de pétrole ont tué 70 à 80 mouettes et 50 à 70 (canards d'eau). Le 27 mars, la rivière a été détournée dans un étang voisin à 5 km en amont du marais Hasting Slough afin d'éviter que du pétrole ne se jette dans le marais. Les bords de la Rivière furent nettoyés avec des pompes de lavage qui expulsaient le pétrole vers l'étang. Ce dernier contenait des barrages et des absorbeurs qui permettaient de récupérer au fur et à mesure le pétrole.</p>
--	--

Tableau V-2 :L'historique des accidents majeurs dus aux mouvements de terrain

5.4.1.1 Conclusion

L'analyse de ces accidents présentés ci-dessus montre que les mouvements de terrain résultent souvent de fortes pluies, d'un séisme et de l'effet de gel. Le retour d'expérience montre également que les installations les plus exposés aux mouvements de terrain sont les canalisations enterrées (que ce soit des canalisations de fuel, de pétrole, de gaz ou de l'eau.).

5-5 Les conséquences engendrées par un affaissement et les recommandations.

Un glissement de terrain peut avoir des conséquences très lourdes comme en témoignent les accidents cités auparavant. Elles sont diverses :

- Pollution du sol et des eaux de surface et souterraines
- Incendies
- Perte d'exploitation

Les recommandations :

Au vue de ce qui précède, il est important d'analyser et prévoir la possible apparition des phénomènes géomécaniques de glissement de terrain. Pour assurer un niveau suffisant de sécurité industrielle et environnementale, réduire les coûts financiers engendrés par les travaux de réparations et de mise en état destinés à éliminer les répercussions des phénomènes géomécaniques sur les équipements industriels et leurs exploitations, il est recommande de :

1. suivre les variations de température pendant une longue durée afin de tracer les changements et l'évolution du sol (relevés réguliers des données).
2. Il faut surveiller la zone remplie pour voir s'il y'a un affaissement et si c'est le cas, faire un apport de terre ou de remblais pour ajuster.

3. la mise en place de système d'observation topographique et géodésique : détection et surveillance des déformations du sol et du sous sol. Ceci pour étudier ces phénomènes géomécaniques.

5.6 Etude d'impact environnementale

V.6.1 Pollution du sous sol et des eaux souterraines

Il ressort de nos constatations sur site ainsi que de la documentation à laquelle nous avons eu accès qu'aucun examen de la zone environnante et de la base de l'excavation n'a été fait pour prévenir le risque de la pollution du sous sol et des eaux souterraines. Cette importante démarche est nécessaire pour le planning de la mise hors service des systèmes de stockage souterrain.

La pollution des eaux superficielles est très perceptible, attire toute de suite l'attention sur les dangers et les mesures à prendre pour la combattre. Par contre la pollution des eaux souterraines est moins apparente, de telle sorte que la tendance générale est de la négliger. Mais elle n'en est pas moins dangereuse, car elle atteint les ressources les plus précieuses par leur qualité et la nature de leurs réserves [TEC04]

Or les eaux souterraines constituent une réserve immense dont on ne pourra pas se passer. C'est de l'eau pure, normalement protégée par les terrains qui la recouvrent, et par filtration au sein de l'aquifère. Lorsque la pollution y pénètre, en particulier par infiltration massive en un lieu, elle est plus ou moins retardée, et non pas directe et rapide comme dans le cas des eaux superficielles. Par contre la contamination est beaucoup plus longue à disparaître en raison de la lenteur de la circulation de l'eau souterraine.

Les différents contaminants d'origine chimique qui peuvent être présents dans le sous sol, issus du résidu (boue) contiennent surtout le gaz toxique qui est l'hydrure de soufre (H_2S) et des métaux lourds. L'accumulation de ces polluants pendant la durée de vie du bac (en l'espace de 40 ans) conduit à un autre risque (sanitaire) d'où un danger pour la santé public d'autant plus que le bac est situé dans une zone urbaine.

Le Processus de pollution s'effectue par la fusion de la glace. L'eau résultante dissout ces polluants et les entraîne jusqu'à la première nappe phréatique rencontrée. La vitesse de la pollution dépend de la température, de la vitesse de l'écoulement, de la porosité du sous sol, et des propriétés physico-chimiques des polluants.

5-6-2 Données de toxicologie générale pour l'hydrure de sulfure.

L'hydrogène sulfuré est un gaz à l'odeur caractéristique "d'œuf pourri" dont le seuil de perception est soumis à de fortes variations de sensibilité individuelle. Cette odeur de l'hydrogène sulfuré gazeux est un indicateur sensible de sa présence mais pour de faibles concentrations. En effet, pour des teneurs élevées, l'inhalation d'hydrogène sulfuré se traduit par une paralysie des centres nerveux olfactifs et une anesthésie de l'odorat.

De plus, l'hydrogène sulfuré étant un gaz irritant, la perception olfactive corrélée aux sensations d'irritation permet d'évaluer les concentrations d'exposition. Le tableau récapitulatif suivant peut alors être dressé.

Concentration (ppm) (mg/m ³)		Durée	Effets sur l'homme
0,0005 -0,13	0,0007 -0.2	<1min	Seuil olfactif
10.5-21	16-32	6 - 7 h	Seuil d'irritation oculaire
50 -100	75-150	> 1 h	Irritation des muqueuses oculaires et respiratoires
150-200	225-300	2 - 15 min	Seuil de perte de l'odorat

Tableau V-3 Récapitulatif des effets de l'hydrogène sulfuré sur l'homme (OMS, 1981)

Enfin, l'hydrogène sulfuré est un gaz asphyxiant dont les effets sont identiques à ceux observés pour le cyanure. Il agit au niveau de la respiration cellulaire comme inhibiteur du cytochrome c-oxydase et bloque ainsi l'utilisation tissulaire d'oxygène. Il a également une action paralysante des centres nerveux respiratoires induisant une apnée qui peut être réversible en cas de traitement par oxygénothérapie, sinon mortelle [13].

5-6-3 Diagnostic des sites pollués

Le diagnostic des sous sols est un élément rendu indispensable par le développement de la législation, soit à titre préventif dans le cadre des études d'impact de nouveaux aménagements, soit dans le cadre de la mise à niveau réglementaire d'installations classées pour la protection de l'environnement.

Le champ du diagnostic de la qualité du sous sol correspond à un milieu complexe ou coexistent phase minérale, gaz et eau en constante évolution sous l'effet de facteurs naturels ou anthropiques.

Les objectifs d'un diagnostic de la qualité du sous sol, sur un site à développer ou en activité, peuvent être :

1. de répondre à une contrainte réglementaire ou contractuelle ;
2. d'élaborer un référentiel (sol et nappe) opposable aux tiers, dans le cadre de transfert d'exploitation ou de propriété ainsi que dans le cadre de contentieux de voisinage ;
3. de disposer d'éléments indispensables à une stratégie de réhabilitation d'un site.

5.6.4 Les prélèvements

Le prélèvement est une étape clé dans la collecte d'information, compte tenu de l'importance des procédures, d'échantillonnage pour l'obtention d'échantillons représentatifs. L'afnor a développé des normes pour la détection et la caractérisation des pollutions.

5.6.4 .1 Prélèvements de sol

Le prélèvement d'échantillons de sol vise à évaluer l'impact éventuel d'une pollution sur une couche géologique donnée.

Deux types d'échantillons peuvent être prélevés : des échantillons ponctuels prélevés sans remaniement à partir de l'outil de forage (carottier, pelle mécanique) et des échantillons composites obtenus par le mélange d'échantillons en des points distincts.

5.6.4 .2 Prélèvements de gaz du sol

Les prélèvements de gaz du sol permettent la mesure de substances volatiles dans l'atmosphère des sols. En effet, les substances volatiles, dissoutes dans l'eau souterraines ou présentes dans les sols, peuvent migrer (après transfert de phase) dans l'atmosphère du sol en fonction de leur pression de vapeur et de leur solubilité.

5.6.4 .3 Prélèvements d'eau souterraine

L'objectif de prélevé l'eau souterraine est de contrôler sa qualité dans la zone étudiée, il est conseillé d'échantillonner les piézomètres¹⁵ des moins pollués aux pollués de manière à limiter le risque de transfert de contamination « croisée » c'est adire d'un piézomètre à l'autre.

5.6.5 Conclusion

Ces prélèvements ont essentiellement pour objectif de caractériser et de quantifier les impacts chimiques des polluants d'un site industriel sur les sols et les eaux souterraines

¹⁵ Un piézomètre est un ouvrage permanent, généralement de petit diamètre, constitué d'un tube installé dans un trou de forage vertical qui sert à la fois à mesurer le niveau piézométrique et à prélevé des échantillons d'eau souterraine pour évaluer sa qualité.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de cette recherche était la compréhension des mécanismes de la gestion des risques industriels.

Cette recherche était basé sur des références bibliographiques ainsi que d'un exemple concret qui est le démantèlement d'un bac de stockage souterrain de gaz naturel liquéfié (GNL) sis au GL4/Z ARZEW.

Notre conclusion porte sur l'évaluation de la technique de stockage souterrain en sol gelé. Ce réservoir a été fabriqué à une période où il n'était pas question de gestion environnementale et il ne possédait pas les caractéristiques maintenant considérées comme standard.

Son échec revient aux dégradations subies par le sol environnant, d'où la nécessité d'une étude géologique approfondie sur la nature du sol, la profondeur de la nappe phréatique, sa proximité des zones sensibles (agglomérations, faune, flore ... etc.), la proximité des eaux de surface et la contamination préalable.

Le choix porte sur la méthode utilisée pour l'analyse des risques s'est manifeste par l'identification globale des sources de danger. Contrairement aux autres méthodes, se confinant uniquement sur des données statistiques de probabilités d'occurrence et sur la compétence des experts (l'AMDEC, APR, HAZOP..., méthodes issues de la sûreté de fonctionnement)

Son application a permis d'identifier des scénarios et de construire les arbres des causes des trois événements majeurs tels que l'explosion, l'incendie et l'effondrement auxquels on a pu proposer des barrières de prévention et de protection.

La complexité des activités exigeait une bonne connaissance des procédures, une sensibilisation des risques encourus et une bonne coordination entre le chef de projet et les opérateurs.

Les enseignements tirés du retour d'expérience, partie intégrante de la démarche d'analyse, nous a aidé à déceler des situations de dérive vers les accidents

majeurs. La création d'une base de données à l'échelle nationale concernant les accidents majeurs regroupant tout les domaines industriels pourra nous aider dans le futur à l'amélioration de la qualité de nos recherches adaptées aux problèmes industriels, dans le domaine de la gestion des risques.

Dans le cadre juridique, La réglementation algérienne est pourvue de lois incitant les responsables à maîtriser les risques engendrés par leurs activités. L'application des standards et des normes assurant la qualité fait partie de la sécurité et doit intégrer la politique de la gestion des risques des entreprises. Ceci ne peut être réalisable qu'avec une réglementation spécifique et exigeante.

Parmi les limites et les problèmes que nous avons rencontrés lors de notre recherche on peut citer la collecte d'information et de connaissance, la complexité du projet et la taille de l'organisation rendant cette tâche difficile à gérer pour une seule personne.

En plusieurs points de vue, Ce travail ouvre des perspectives de recherches intéressantes autres que celles ayant trait à ma recherche qui est purement technique.

On peut intégrer d'autres aspects tels qu'organisationnels, social et particulièrement économique permettant d'optimiser les solutions techniquement et économiquement.

Références Bibliographiques

[1]	ANDRE MUSY, MARC SOUTTER, (1991), <i>Physique Du Sol</i>
[2]	la base de données ARIA, Bureau d'Analyse des Risques et des Pollutions Industrielles (BARPI) France.
[3]	RAOUL CALVET, <i>le sol propriétés et fonctions</i> (2003), Tome 2 phénomènes physiques et chimiques application agronomiques et environnementales
[4]	Ecole Nationale Supérieure du Pétrole et des Moteurs, (2001), <i>sécurité industrielle des systèmes -analyse des risques</i>
[5]	Institut pour une Culture de Sécurité Industrielle (ICSI), « <i>fréquence des événements initiateurs d'accidents et disponibilité des barrières de protection et de prévention</i> » Rapport juillet 2006.
[6]	INERIS, « <i>Mise sous talus ou sous terre des réservoirs contenant des hydrocarbures liquides inflammables</i> », septembre 2001, direction des risques accidentels. « <i>Intégration des aspects organisationnels dans le retour d'expérience</i> » Edition 2002 « <i>Intégration de la dimension probabiliste dans l'analyse des risques -partie 1</i> » Edition 2006
[7]	JORA / Journal Officiel de la République Algérienne
[8]	P.de LAGUÉRIE, (1990), <i>stockage en souterrain</i> , (sous la direction de GILLES ROUSSET), le stockage souterrain de gaz liquéfiés a basse température, actes des journées d'étude, paris, 1990 pp 101-113, école nationale des ponts et chaussées.
[9]	MARC LASSANGNE (2004) (la maîtrise des risques en perspective), <i>management des risques, stratégie d'entreprise et réglementation : le cas de l'industrie maritime</i> . (Thèse de doctorat, école nationale supérieure d'arts et de métiers).
[10]	PIERRE PERILHON, ANDRE LAURENT membres du réseau ARI, quatorzièmes entretiens jacques cartier, colloque, <i>Risques industriels et risques urbains : vers une même approche ?</i> 3 et 4 décembre 2001, Lyon, France.
[11]	Document PSN intitulé (<i>underground storage tank decommissioning procedure</i>)
[12]	Techniques de l'ingénieur, traité Environnement Doc. G2 570
[13]	Sylvie TISSOT - Annick PICHARD, Rapport INERIS, « <i>Seuils de Toxicité Aiguë Hydrogène Sulfuré (H2S)</i> » Direction des Risques chroniques (DRC), Unité d'Expertise Toxicologique des Substances chimiques (ETSC) janvier 2000.
[14]	Systèmes de gestion des réservoirs de stockage, travaux publics et services gouvernementaux canada.
[15]	THIERY VERDEL, <i>méthodologie d'évaluation globale des risques</i> , Laboratoire Environnement Géomécaniques et Ouvrages (LAEGO), Ecole des Mines de Nancy.
[16]	GHASSAN ZIHRI (2004), Risques liés aux ouvrages souterrains : constitution d'une échelle de dommages (thèse de doctorat). Institut National Polytechnique de Lorraine, Ecole des Mines de Nancy.

Annexe 01 : La liste des lois algériennes applicables au projet de démantèlement

Activité	Description des risques	Législation algérienne applicable
Gestion de la sécurité	Blessure Dégâts matériel Maladies professionnels	Décret 05-08 du 08/01/05 prescriptions environnement. décret 06-02 du 07/01/06 valeurs limites. décret 05-08 du 08-01-05 prescriptions santé. décret 05-09 du 08-01-05 commissions paritaires santé. décret 05-11 du 08-01-05 service hygiène sécurité et santé. décret 05-08 du 08-01-05 prescriptions santé. décret 05-08 du 08-01-05 prescriptions sécurité. loi n° 04-20 25/12/2004 prévention risques majeurs.
Réglementation sur la fourniture et l'utilisation de l'outillage à main électrique	Coupures, abrasions	Décret n° 01-342 du 28/102001

Construction : travaux en hauteur travaux au dessus de l'eau. Circuits sous pression, fourniture et utilisation des outils manuels et électriques	Chutes Electrocution Abrasions Brulures Dégât matériel	Décret n° 01-342 du 28 octobre 2001
Consultation et communication avec le personnel	Incident / dégât matériel a cause de la mauvaise communication	//
Matériel avec écran d'affichage	Feu	Décret n°01-342 du 28 octobre 2001
Formation et compétence	Accidents causés par le manque de qualification	Décret n° 02-427 décembre 2002
EPI	Blessures graves	Décret n° 01-342 du 28 /10/2001 Décret n° 02-427 du 07 décembre 2002
Systèmes sous pression	Blessures graves Dégât matériel	Arrêté du 15/01/1986 Décret n 90-245 du 18/08/1990 Décret n° 90-2460du 18/08/1990
Contrôle des produits dangereux	Feu /explosion Risque santé Risque d'environnements	Décret exécutif n° 90-79 Du 27/02/1990 Décret exécutif n° 90-227 Du 15/09/1990 Décret présidentiel 90-198 du 30 /06/1990 Arrêté ministériel du 10/08/1981

<p>Précaution anti-incendie :</p> <p>Stockage des produits inflammable diesel, peinture et diluants.</p> <p>Règles anti-incendie dans les bureaux</p> <p>Règles anti-incendie sur site</p>	<p>Blessures graves</p> <p>Dégât matériel</p>	<p>Ordonnance n° 76-4 du 20 février 1976</p> <p>Décret n°76-35 du 20 février 1976</p> <p>Décret n°84-105 du 12 mai 1984</p> <p>Décret n°84-385 du 22 décembre 1984</p> <p>Arrêté du 15janvier 1986</p> <p>Décret n°90-245 du 18/08/1990</p> <p>Décret n°90-246 du 18/08/1990</p>
<p>Bruits environnants</p>	<p>Long term injury ton hearing</p> <p>Local</p>	<p>Décret exécutive n°93-184 du 27 juillet1993</p> <p>Arête du 04 avril 1972</p> <p>Arrêté du 25/02/1964</p>
<p>Protection de l'environnement :</p> <p>1-Evacuation des déchets en général.</p> <p>2-L'évacuation du béton.</p> <p>3-L'évacuation du calorifuge</p> <p>4-Evacuation de déchets spéciaux.</p> <p>5- Contrôle des déversements</p>	<p>Rejet</p> <p>Pollution d'air</p> <p>Contamination de sol</p> <p>Pollution d'eau et de la mer</p>	<p>Loi n° 83-17 du 16/07/1983modifié et complétée par ordonnance n°96-13 du 15 juin 1996.</p> <p>Décret exécutif n°93-165 du 10 juillet 1993 complété par décret exécutif n°2000-73 du 1 er avril 2000.</p> <p>Décret exécutif n°03 -410 du 05 novembre 2003.</p>
<p>Electricité</p> <p>Dépose des câbles électriques autour du bac</p> <p>Equipement électrique</p>	<p>Blessure</p> <p>Brûlures</p> <p>Electrocution</p> <p>Dégât matériel</p>	<p>Décret n°01-342 du 28 octobre 2001</p>

Résumé

L'évaluation du risque généré pour l'environnement et les populations en situation anormale (incident, accident) est une obligation pour toute installation classée soumise à autorisation. Ceci se traduit par la loi n°04-20 du 25 décembre 2004 sur les préventions des risques majeurs.

Cette étude concerne l'évaluation et la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels. C'est de son contenu, fondé notamment sur une analyse des risques portant sur l'ensemble des scénarios pouvant conduire à des phénomènes dangereux, que découlent les barrières de sécurité c'est à dire les mesures techniques et organisationnelles (formation, consignes...) que doit mettre en œuvre l'exploitant pour réduire les risques à la Source.

Une étude de cas portant sur la gestion des risques, en particulier l'application de l'approche systémique MADS MOSAR, pour l'analyse des risques liés au démantèlement d'un bac de stockage souterrain de GNL est présentée.

La prise en compte de l'environnement constitue une préoccupation majeure. La présence de polluants dans les sols n'est pas la problématique en terme de risque, mais le fait que cette pollution soit mobilisable naturellement soit diffusé par les eaux souterraines soit par une autre activité humaine et donc susceptible d'affecter l'environnement ou une population exposée.

Mots clés : stockage - souterrain – démantèlement –risque—Mads Mosar – environnement.-impact-explosion – incendie.

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université d'Oran
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle



Thèse de Magister
En Sciences des Risques et Matériaux

ETUDE DES RISQUES LIES AU BAC SOUTERRAIN DU COMPLEXE GNL4Z

Présentée par :
AMEUR SOUMIA

Le 17/03/ 2009

Devant les membres de jury

M. SEBBANI	Président	Professeur Université D'Oran
Z. LOUNIS	Examineur	Maître de conférences Université D'Oran
A. BOURAHLA	Examineur	Maître de conférences MOSTAGANEM
N. HASSINI	Directeur De Thèse	Maître de conférences Université D'Oran

*A mon père, à ma mère,
qui ont été et sont toujours pour moi, un exemple de
bonté et d'honnêteté; en guise de faible témoignage
pour leur immense aide morale et matérielle, qu'ils
trouvent ici l'expression de toute mon affection, de
ma gratitude, pour la sollicitude jamais démentie
qu'ils ont manifesté à mon égard.*

Remerciements

*Je tiens, tout d'abord, à remercier Monsieur **Noureddine Hassini**, Maître de Conférences à l'université d'Oran, directeur de ma thèse, pour m'avoir fait confiance dans les débuts difficiles de cette thèse et durant tout son accomplissement tout en me laissant une grande liberté pour faire mon apprentissage de jeune chercheur.*

*J'adresse mes sincères remerciements à l'ensemble du jury : son président monsieur M. **MOHAMED SEBBANI**, Professeur à l'Université d'Oran, Madame **ZOUBIDA LOUNIS**, Maître de Conférences à l'Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle de l'université d'Oran et monsieur **A. BOURAHLA**, Maître de Conférences à l'Université de MOSTAGANEM pour avoir accepté de juger ce travail.*

*Je tiens à remercier, Mademoiselle **Khadija. GVENACHI**, qu'elle trouve ici l'expression de toute ma reconnaissance pour m'avoir donné l'occasion de faire partie de cette post graduation et pour ses précieux conseils.*

*Je n'oublierai évidemment pas mes enseignants : Professeur **Hadjel**, Monsieur **ADDABOUDJELLAL**, Professeur **KHATIR**, Monsieur **SAADI** et Monsieur **BELKHATIR**, qui ont contribué à ma formation, qu'ils trouvent à travers cet ouvrage toute la reconnaissance et la gratitude qu'ils méritent.*

*Toute ma reconnaissance à mon chef de service du laboratoire de police scientifique d'Oran pour m'avoir donné l'occasion de poursuivre mes études de recherche sans oublier mes collègues **Amine, Nadji, Omar, Fadila, Hadjira**, pour avoir contribué à mes réflexions.*

*Je remercie mes collègues thésards: **N. NOUREDDINE, S. ASSAF, S ZOUAIRI, F. BOUKEZZI, M. BOUANANI** pour leur soutien moral, et pour l'ambiance agréable qu'ils ont créée.*

*Ce travail a été réalisé au sein du complexe **GL4/Z ARZEW** (ex Camel) avec l'aide de la Direction de Sonatrach, **ARZEW**, qui ont soutenu techniquement cette thèse. J'exprime ma gratitude à Monsieur **A BENTAIB** pour son soutien et son aide précieuse, aussi je remercie Monsieur **KHEMLICHE** pour ses précieux conseils, Madame la **DRH** qui nous a permis et faciliter la tâche par l'accès au complexe.*

CHAPITRE I
ETUDE DU BAC SOUTERRAIN

CHAPITRE II
LA MISE HORS SERVICE DES RESERVOIRS
SOUTERRAINS

CHAPITRE III
LA REGLEMENTATION

CHAPITRE IV
GESTION ET ANALYSE DES RISQUES

CHAPITRE V
RISQUE RESIDUEL