

Proposition d'une démarche de Retour d'Expérience pour l'évaluation et la prévention des accidents industriels

S. Chettouh^{1*}

¹ Laboratoire de Recherche en Prévention Industrielle (LRPI)
Institut d'Hygiène et Sécurité, Université de Batna 2. 53, Route de Constantine.
Fésdis, Batna 05078, Algérie.

*Corresponding author: chettouh.samia@yahoo.com; Tel.: +213 662 082 926;

ARTICLE INFO

Article History :

Received : 02/10/2019
Accepted : 28/03/2020

Key Words:

Accident statistics;
Database;
ALPHA;
Bow-Tie.

Mots clés:

Statistique des accidents;
Base des données;
ALPHA;
Nœud de papillon.

ABSTRACT/RESUME

Abstract: Lesson learned from industrial accidents is considered to be one of the main pillars of modern industrial risk assessment approaches that provides a solid and structured basis for decision-making processes. The main objective of this work is to use the Lesson learned from industrial accidents in the Skikda refinery during the period from 2003 to 2018 as input data to simulate the consequences of these accidents. 59 accidents were reported during this period, two of them were judged to be major accidents. Statistical analysis shows that the fire was the most common accident in the refinery (50%) caused mainly by equipment failures (30%) causing loss of lives and damage to properties and the environment. This proposed approach makes it possible to identify the exposed areas to the different effects of industrial accidents (toxic threat zone, thermal threat zone and overpressure threat zone), which makes the overall risk assessment approach more practical and effective for the appropriate use of safety barriers and for the entire decision-making process to minimize the adverse impacts of such accidents.

Résumé: Le Retour d'expérience (REX) sur les accidents industriels est considéré comme l'un des principaux piliers des approches modernes d'évaluation des risques industriels qui fournit une base solide et structurée aux processus de prise de décision. L'objectif principal de ce travail est d'utiliser le retour d'expérience sur les accidents industriels dans la raffinerie de Skikda (Algérie) durant la période allant de 2003 à 2018 comme données d'entrée pour la simulation numérique des conséquences de ces accidents. 59 accidents ont été reportés au cours de cette période dont deux accidents ont été jugés comme accidents majeurs. L'analyse statistique a montré que l'incendie été l'accident le plus courant dans la raffinerie (50%) causé principalement par des défaillances du matériel (30%) et causant des pertes des vies humaines et des atteintes aux biens et à l'environnement. Cette approche proposée a permet aussi d'identifier les zones exposées aux différents effets des accidents industriels (toxiques, thermiques et surpression), ce qui rend l'approche globale d'évaluation des risques plus pratique et efficace pour l'utilisation appropriée des barrières de sécurité et pour l'ensemble du processus décisionnel afin de minimiser les effets néfastes de tels accidents.

I. Introduction

L'accident est un facteur de préjudice dans la plupart des industries. Il constitue une source potentielle de pertes humaines, de dégâts matériels et d'impacts sur l'environnement. Du fait que les raffineries de pétrole sont généralement reconnues comme des sites à haut risque [1, 2], les conséquences de tout événement dangereux peuvent être désastreuses que ce soit pour l'homme, les biens ou l'environnement et peuvent bien sûr coûter des millions de dollars. En effet, les conséquences de tels accidents couvrent différents niveaux et peuvent affecter non seulement les sites industriels, mais aussi avoir des impacts environnementaux et socio-économiques [3, 4]. L'Algérie n'est pas à l'abri de ce genre de catastrophe industrielle, un grand nombre d'accidents dans le domaine du raffinage du pétrole a entraîné la perte de vies humaines et des dommages économiques énormes dûs à la destruction des matériels ainsi qu'aux jours d'interruption de production [5, 6]. Ce constat amer se veut être avant tout un signal d'alarme que les spécialistes appellent à prendre très au sérieux. A cet égard, une approche de modélisation des accidents et les leçons tirées des analyses statistiques sur les accidents industriels fournissent des mesures importantes pour le succès des programmes de sécurité et contribuent à déterminer si les impacts de ces accidents sont perçus comme un problème environnemental majeur [7]. Cependant, les effets socio-économiques associés jouent également un rôle important dans l'évaluation d'impact globale [8].

Le retour d'expérience sur les accidents industriels est largement reconnu comme l'un des piliers des approches modernes de la gestion des risques [9] qui aide à prévenir la récurrence future. Les leçons tirées peuvent être utilisées comme des flux d'intelligence opérationnelle pour mieux planifier les interventions et s'assurer que ces dernières sont utilisées là où elles peuvent être les plus bénéfiques [10]. Au cours des dernières décennies, plusieurs études scientifiques abordant le thème du Retour d'EXpériences sur les accidents industriels ont été réalisées. Ces recherches se basaient généralement sur des analyses statistiques des accidents industriels et des études de cas dont l'objectif était principalement la découverte de nouvelles connaissances et l'identification des leçons prises afin de garantir que l'accident faisant l'objet de l'étude ne se reproduira plus. Ces études ont été mises au point pour plusieurs pays et différents types d'accidents couvrant divers secteurs industriels, dans la section qui suit, on va citer les plus pertinentes.

Khan et Abbasi [4, 11, 12] ont analysé les causes et les conséquences des accidents industriels majeurs. Hudson [13] a développé une étude sur l'application du REX des industries à haut risque au domaine de

la santé. Liu et al. [14] ont réalisé une analyse statistique des accidents industriels en Chine au cours de la période 1990-2003. Konstandinidou et al. [15] ont analysé tous les accidents et incidents signalés dans l'industrie pétrochimique grecque pour la période allant de 1997 à 2003. Sweis [16] a présenté une analyse statistique des incendies en Jordanie entre 1996 et 2004. Abdolhamidzadeh et al. [17] ont réalisé un recueil des événements passés et identifié certains modèles d'accidents dans l'industrie des procédés. Zhang et Zheng [18] ont présenté une étude statistique d'accidents qui sont produits en Chine sur la période allant de 2006 à 2010 et qui sont liés au produit chimique Acide Hydroxy-Citrique (AHC). Mihailidou et al. [19] ont présenté une revue des principaux accidents industriels depuis 1917. Cheng et al. [20] ont utilisé les techniques d'exploration de données pour analyser les causes des accidents professionnels majeurs dans l'industrie pétrochimique. Khan et al. [21] ont proposé une étude du REX sur les questions de sécurité dans les environnements difficiles en identifiant les défis de sécurité concernant la construction et l'exploitation.

D'autres ont choisis de structurer leurs travaux sous forme d'une base de données tel que Nivolianitou et al. [22] qui ont développé une analyse de certaines caractéristiques des accidents majeurs dans le secteur pétrochimique sous forme d'une base de données qui s'est intégrée dans MARS (The European Major Accident Reporting System). Tauseef et al. [23] ont proposé une base de données sur les accidents dans l'industrie des procédés chimiques comme un outil d'aide à l'analyse des accidents passés. Calvo Olivares et al. [24] ont présenté une base de données d'accidents et d'incidents pour l'industrie du biodiesel pour la période 2003 à novembre 2013.

Une autre partie importante des études sur le REX est consacrée au secteur pétrolier et bien évidemment au raffinage du pétrole tel que les travaux de Shaluf et al. [25] qui ont réalisé un recueil des accidents des raffineries du monde et ils ont également décrit les causes d'un incendie dans une raffinerie de l'ouest de la Malaisie ainsi que les leçons apprises. Chang et Lin [5] ont examiné 242 accidents de réservoirs de stockage survenus dans des installations industrielles pendant plus de 40 ans à l'aide du diagramme en arête de poisson pour analyser les causes des accidents. Taveau [26] a réalisé un recueil historique des incendies et des explosions des bacs de stockage, dont il a donné plus d'intérêt à l'étude des causes et conséquences de ces événements. Fabiano et Curro [27] ont effectué une analyse historique avec une enquête statistique des événements accidentels dans l'industrie pétrolière pour identifier les tendances historiques et enquêter pleinement sur les causes des accidents. Vastveit et al. [28] ont présenté un

REX sur les incidents survenus dans une raffinerie scandinave.

La plus part de ces études avaient pour objectif final la détermination de causes et conséquences des accidents et, en outre, mettre en œuvre des mesures de gestion de la sécurité pour prévenir de futurs accidents.

Dans le même contexte de ces travaux, cette étude va montrer comment le REX peut présenter d'autres paramètres de l'événement accidentel autres que les causes et les conséquences et comment il peut contribuer à la modélisation des effets des accidents industriels et la prévention de leurs conséquences dans le domaine du raffinage de pétrole. Ce travail présente une approche statistique / dynamique qui combine à la fois trois outils, à savoir, le Retour d'Expérience sur les accidents passés dans le domaine de raffinage du pétrole en Algérie (sous forme d'une base des données regroupant les accidents industriels) cette dernière peut fournir une analyse statistiques des données des accidents et le logiciel ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) qui représente l'aspect dynamique de l'approche en illustrant les zones menacées par les effets de l'accident. Pour présenter clairement les causes et les effets des accidents industriels, la méthode Nœud de papillon a été utilisée.

Pour atteindre cet objectif, un accident industriel a été choisi pour être traité afin de mieux comprendre la contribution du REX à la modélisation des conséquences des accidents industriels et les étapes qui peuvent être entreprises pour les éviter au futur

[29, 30]. Ainsi, le logiciel ALOHA est utilisé pour modéliser les conséquences d'un incendie de réservoir qui a eu lieu dans la raffinerie de Skikda (Algérie), le 5 octobre 2005, dont les données d'entrée sont tirées des retours d'expériences sur les accidents passés ainsi que les rapports d'investigations. Les résultats obtenus peuvent être utilisés pour étudier l'évolution du panache de l'incendie résultant de l'accident ainsi que ses effets (par exemple, la concentration, les effets thermiques, et surpression) [31]. C'est pour quoi, l'ultime objectif de cette approche consiste à fournir des informations pertinentes et structurées pour les processus de prise de décision afin de minimiser les effets néfastes de tels accidents.

II. Materials and methods

Ce travail propose un cadre méthodologique destiné à l'évaluation et la prévention des accidents industriels par le couplage le REX et l'analyse numérique comme illustré dans la figure 1.

La première composante de ce cadre méthodologique est le Retour d'Expériences présenté sous forme d'une base de données sur les accidents du raffinage du pétrole (Algerian Industrial Accident REX (AIA-REX)). Cette dernière contient des informations sur la date, le lieu d'occurrence, les causes immédiates, les substances impliquées ainsi que les effets générés par l'accident.



Figure 1. Cadre de l'approche combiné

La deuxième composante de ce cadre méthodologique est le simulateur numérique ALOHA qui est utilisé pour obtenir des informations sur les zones de menaces toxiques, thermiques et surpression en utilisant comme données d'entrée, les données retenues dans la base de données des accidents telles que la nature des substances impliquées et générées par les accidents, les conditions météorologiques et l'emplacement de l'accident, etc.

L'autre partie des leçons tirées sur les accidents du raffinage du pétrole, telles que les causes, les conséquences des accidents ainsi que le comportement humain lors de l'accident, sera déduit de la méthode Nœud de papillon et directement utilisé dans l'approche combinée pour proposer des recommandations et des solutions.

II.1. Retour d'expérience sur les accidents industriels dans la raffinerie de Skikda

L'industrie algérienne du raffinage du pétrole et gaz est un secteur important et stratégique. On compte actuellement six raffineries en Algérie, cinq sont en cours d'exploitation (Alger, Arzew, Skikda, Hassi-Messaoud et Adrar, la sixième est celle d'Ain Amenas qui est en arrêt depuis 1986 [32].

Vu l'importance économique de la raffinerie de Skikda qui est la plus grande raffinerie au niveau national et même continental. La difficulté d'obtenir les données et les informations sur les accidents qui ont eu lieu dans tous les sites de raffinage en Algérie. L'occurrence successive des accidents marquée par deux accidents majeurs ; celui du 19 janvier 2004 et 05 octobre 2005 à la raffinerie de Skikda qui ont causé la mort de 29 personnes et plus de 73 personnes blessées sans parler des pertes économiques et atteintes à l'environnement, chose qui montre qu'aucune leçon ou prise de conscience vis-à-vis la sécurité industrielle n'a été prise. Le fait que la raffinerie de Skikda se situe en voisinage d'une agglomération qui entoure tout son périmètre complique tout événement accidentel dans la raffinerie et augmente les dimensions des dommages et des pertes. On a aussi le fait que la région de Skikda renferme des secteurs d'activités industrielles à haut risque : le transport, le stockage, le raffinage et le transport du pétrole et du gaz, des industries chimiques (chlore) la production d'électricité, des gaz industriels, l'exploration minière, le stockage des lubrifiants. Ces installations conjuguées peuvent être derrière une multitude d'incidents et d'accidents. Alors, lorsque l'on s'aperçoit que toutes ces activités se trouvent au niveau du pôle industriel de Skikda, on peut imaginer le pire à tout moment, si des mesures de sécurité et de prévention ne sont pas amorcées et appliquées rapidement [32, 33, 34]

En se basant sur ces données et pour plusieurs autres raisons, on a orienté cette étude statistique à la raffinerie de Skikda, afin d'obtenir des leçons qui

vont être utilisées pour prévenir le risque des accidents dans des sites similaires.

Le complexe de raffinage du pétrole de Skikda est le plus grand site du raffinage au niveau continental. Il est implanté depuis 1980 dans la zone industrielle à 07 Km à l'est de la ville de Skikda et à 02 Km de la mer. Il est aménagé sur une superficie de 230 hectares. Cette raffinerie a pour mission de transformer le pétrole brut provenant d'Hassi Messaoud à travers un pipeline de 760 km et de 34 pouces de diamètre. Sa capacité de traitement est de 15 millions de tonnes par année de pétrole et de 279 000 tonnes par an de Brut Réduit Importé.

La survenue d'une série d'accidents majeurs dans les différents sites de raffinage en Algérie à la fin des années 2000 et au début des années 2010 suscite des inquiétudes quant à la sécurité des sites industriels, notamment ceux pouvant présenter des risques majeurs pour les populations avoisinantes [27, 11, 12].

Afin d'identifier les causes et les conséquences de tels événements, la présente étude a examiné plus de 100 rapports d'accidents et des incidents dans la raffinerie de Skikda de 2003 à 2018. Les informations collectées sur chaque accident sont résumées dans une base de données (Algerian Industrial Accident REX (AIA-REX)), qui contient un aperçu sur les accidents et incidents survenus au cours de cette période. Chaque accident est associé à son année et lieu d'occurrence, sa cause directe et au nombre de décès et de blessures pour indiquer sa gravité.

L'objectif de la base de données AIA-REX est de faire connaître les causes et le déroulement des accidents d'un type donné, sans chercher à établir de responsabilité et de fournir des cas illustratifs pour des actions de sensibilisation, formation etc.

Les mesures de prévention ne sont pas indiquées car elles sont liées à une entreprise et à son contexte. L'application de la base de données est à usage strictement d'information et ne doit pas être utilisée dans le cadre d'études ayant un caractère commercial.

II.2. Simulation d'effets d'accidents par le logiciel ALOHA

L'accidentologie est devenue une pratique courante et nécessaire. De nombreuses années de recherches ont permis de modéliser facilement les phénomènes accidentels tels que les explosions, les incendies, les fuites, etc. Cette tendance s'est développée avec le développement des outils de simulation numériques. Ainsi, les systèmes de prévision de la dispersion des fumées deviennent des outils précieux dans la gestion des effets des accidents. Dans cette partie de notre étude, nous cherchons à déterminer les effets thermiques, toxiques et surpressions des accidents plutôt que leurs causes et leur chronologie.

Le modèle de dispersion choisi est ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) qui est un modèle de type intégral permettant de résoudre les équations pour un grand nombre de produits chimiques. Sa base de données sur les substances chimiques contient des renseignements sur les propriétés chimiques d'environ 1000 produits parmi les plus susceptibles d'être impliqués dans des accidents chimiques [35, 36, 37]. ALOHA est un code commercial libre développé conjointement par plusieurs organismes, notamment l'Environmental Protection Agency des États-Unis, l'Office de Préparation et de Prévention des Urgences Chimiques et le Bureau D'Intervention et de Restauration Océaniques et Atmosphériques [35, 36].

Le code ALOHA est conçu pour évaluer les zones de menace en cas de rejet accidentel de substances dangereuses [38]. Il peut prédire comment un nuage toxique pourrait se disperser après un rejet chimique selon plusieurs scénarios d'incendies et d'explosions. Il est aussi capable de simuler divers termes sources tels que les fuites, les ruptures des pipes, les rejets dus aux effondrements du toit du réservoir pour obtenir les résultats souhaités, tel que la concentration sur une distance donnée [39]. La version du code utilisée dans ce travail est ALOHA 5.4.7.

II.3. Présentation des causes, conséquences, barrières de sécurité par la méthode Nœud de papillon

Le Nœud de Papillon est une méthode graphique qui permet de présenter les causes et les conséquences des accidents en intégrant un arbre des défaillances (à gauche) pour représenter les causes et un arbre des événements (à droite), représentant les conséquences [40]. Les barrières de sécurité mises en place sont également prises en compte et dont la performance est bien évaluée par cette méthode (temps de réponse, efficacité et niveau de confiance, par exemple) [41]. L'analyse du nœud papillon devient une technique populaire pour l'analyse de la sécurité des systèmes de traitement [42].

III. Results and discussion

III.1. Leçons tirées des accidents passés

Cette partie est réalisée sous forme de base de données nommée Algerian Industrial Accident REX (AIA-REX) qui récapitule les statistiques et les leçons tirées des accidents de raffinage du pétrole dans la raffinerie de Skikda (Voir Fig.2 (a, b, c)).



Figure 2. La base des données Algerian Industrial Accident REX (AIA-REX)

Cette base de données a révélé 59 accidents qui se sont produits au cours d'une période de 16 ans (2003-2018). La plupart de ces accidents ont eu lieu récemment. Les résultats de l'analyse statistique ont montré que la fréquence des accidents a augmenté au cours de la période 2011-2018. L'identification des causes des accidents est un aspect clé pour l'évaluation globale des risques industriels et il convient de veiller à son exhaustivité, car les événements accidentels non

inclus à ce stade sont peu susceptibles d'entrer ultérieurement dans l'analyse [39, 43]. La figure 3 révèle les principales causes des accidents de raffinage du pétrole à Skikda sur la période (2003-2018). La défaillance des équipements était bien la cause principale des accidents avec 18 accidents sur un total de 59, suivi par la fuite des produits avec 12 accidents.

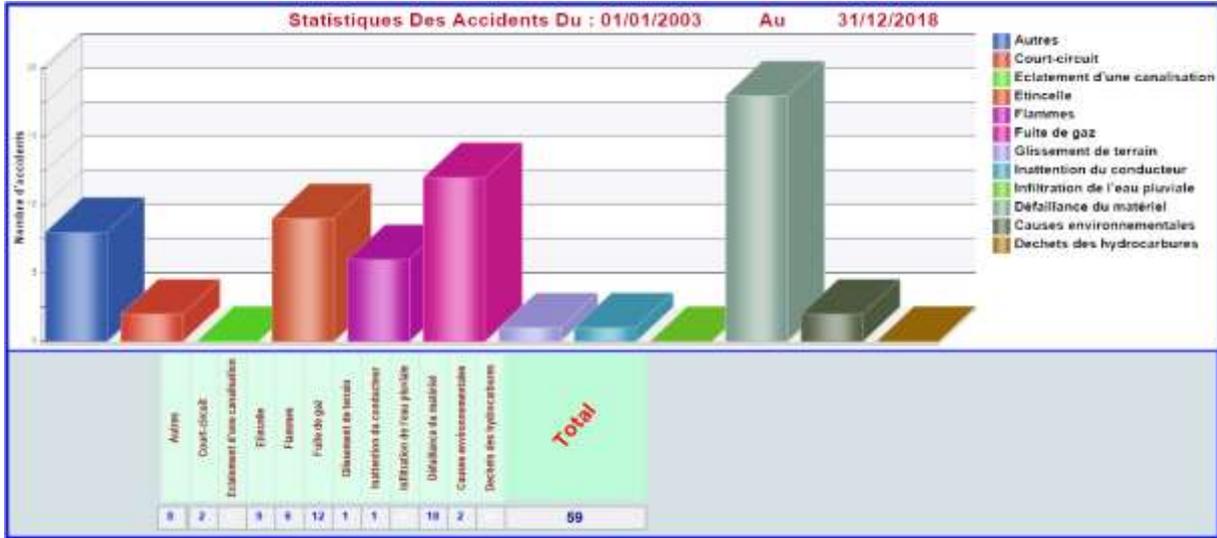


Figure 3. Causes des accidents dans la raffinerie de Skikda sur la période 2003-2018.

La répartition des accidents étudiés en fonction de leur type est présentée dans la figure 4. Les événements enregistrés dans cette étude indiquent que l'incendie est le phénomène le plus fréquent avec un nombre total de 30 accidents sur 59, suivi de la dispersion des produits avec 13 accidents. Parmi les 59 cas présentés dans la Fig.4, l'incendie et l'explosion représentent ensemble 69,49%.

Ce même constat a été déjà rapporté dans des travaux similaires tels que Khan et Abbasi [11, 12], Nivolianitou et al. [22] et Mihailidou et al. [19] ; c'est chercheurs ont constaté que les accidents dans le secteur du raffinage de pétrole sont principalement des incendies, des explosions et des rejets de produits. Selon Khan et Abbasi [44], Nivolianitou et al. [22] et Mihailidou et al. [19], ces types d'accidents peuvent coexister et se chevaucher.

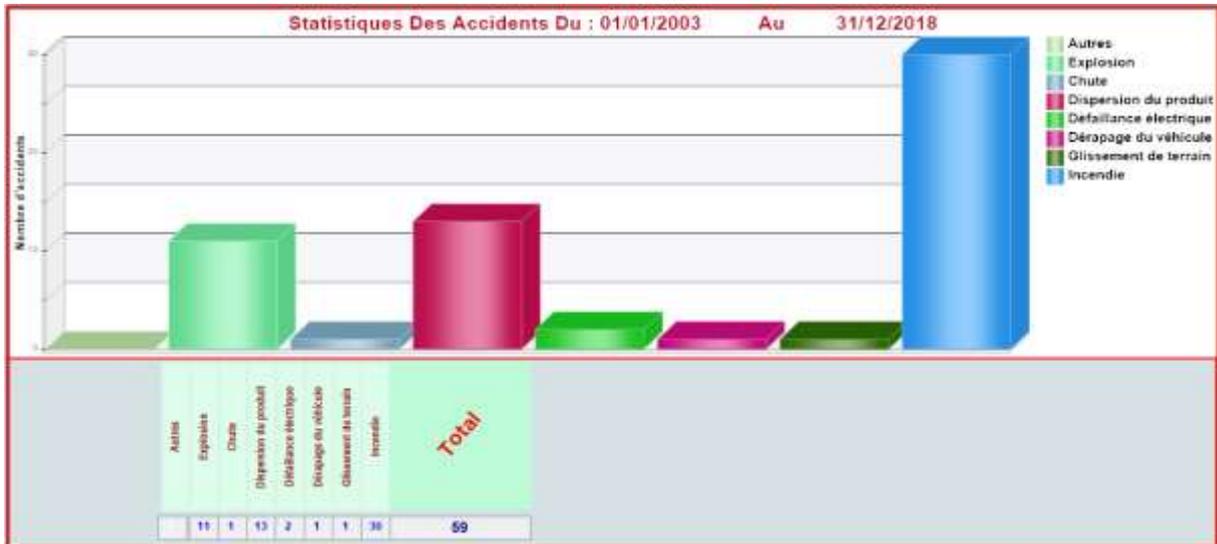


Figure 4. Types des accidents dans la raffinerie de Skikda sur la période 2003-2018.

Ces incendies et explosions sont causés principalement par la présence abondante des substances inflammables et explosives telles que les hydrocarbures lourds (pétrole brut, Naphta B) et le GNL qui sont les substances les plus fréquemment impliquées avec 19 cas [45, 46].

La figure 5 présente les unités où les accidents se sont produits. Comme on peut le constater, le nombre le plus important des accidents signalés dans la raffinerie de Skikda pour la période 2003-2018 a eu lieu dans l'unité Reforming (Unité 100) avec 18 cas des accidents reportés (30%).

L'unité Reforming est au cœur de la production dans l'industrie de raffinage, son but est la transformation du Naphta moyen (le Naphta B) en un produit reformat pour la fabrication des Essences, du GPL, Toluène brut, Pentane et mélange Xylène.

La zone industrielle présente aussi un nombre assez élevé des accidents enregistrés (6 cas), cette zone regroupe les plateformes, les dépôts, les stations de climatisation et la centrale électrique. Autres unités telles que : U40, U200, U62, U30 et Topping 11 présentent ensemble 3 cas et l'unité U11 deux cas.

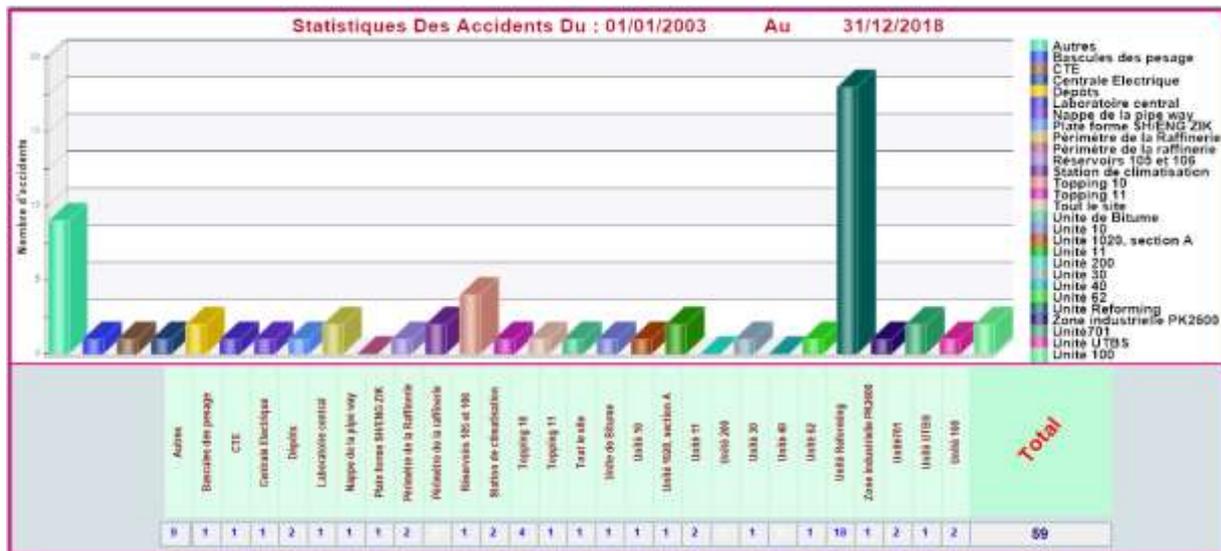


Figure 5. Nombre des accidents signalés dans la raffinerie de Skikda par les unités de production.

Les accidents dans la Topping 10 présentent 4 cas du nombre total d'accidents signalés, tandis que d'autres zones non citées présentent 9 cas du nombre total d'accidents signalés.

Le tableau 1 présente les conséquences des accidents signalés dans la raffinerie de Skikda. En ce qui concerne les types d'accidents, il existe un chevauchement important entre les conséquences qui en résultent. Il est évident que dans la plupart

des accidents avec décès et / ou blessures, il y a aussi une perte matérielle, alors que dans les cas avec un plus grand nombre de décès, une perturbation significative de la communauté est également probable [22]. Selon Khan et abbassi [12], il peut également être observé que l'incendie et l'explosion présentent le plus grand risque de décès et de blessures et c'est ce qui a été effectivement remarqué dans notre étude.

Tableau 1. Catégories des conséquences en fonction des types des accidents dans la raffinerie de Skikda (2003-2018)

Type d'accident	Nombre de cas			
	Décès	Blessés	Dommages matériels	Pas de dommage
Incendie	1	4	17	7
Explosion	1	4	9	0
Dispersion des produits	0	3	5	3
Défaillance du matériel	0	1	1	1
Autres	2	1	2	0

III.2. Détermination des circonstances du déroulement des accidents par la méthode Nœud de papillon

En se basant sur les résultats de la base de données des accidents survenus à la raffinerie de Skikda (Algérie) pour la période 2003-2018, on a sélectionné l'accident du 5 Octobre 2005 qui est considéré comme étant le plus grave suite à ses

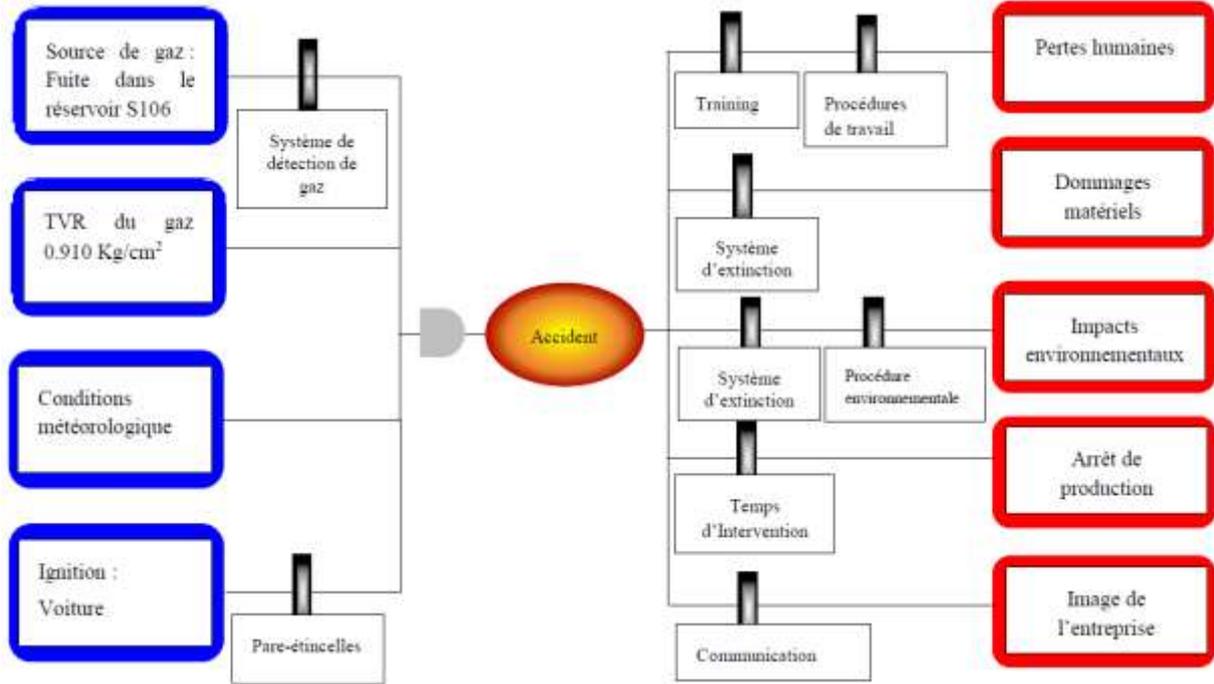


Figure 6. Diagramme Nœud de papillon de l'accident du 5 Octobre 2005.

L'élaboration d'un diagramme en Nœud papillon est bien présentée par [36, 19]. Pour notre étude de cas, il n'y avait pas d'analyse de risque préalable permettant d'identifier les accidents pouvant survenir dans des conditions similaires à celles de l'accident du 5 octobre 2005 (conditions météorologiques, niveau de TVR élevée, etc.).

Cependant, il y avait des barrières de sécurité associées pour les scénarios d'incendie des réservoirs de stockage des hydrocarbures, mais elles n'étaient pas dimensionnées en fonction des conséquences de grandes ampleurs. Compte tenu de l'importance de cet événement accidentel, les matériaux déployés pour lutter contre l'incendie se sont avérés impuissants et insuffisants.

III.3. Evaluation des zones de menaces par le logiciel ALOHA

Afin de déterminer la concentration du polluant et les effets thermiques émis par l'accident, le logiciel ALOHA a été utilisé. Les données nécessaires sont extraites de la base de données des accidents survenus à la raffinerie de Skikda de 2003 à 2018. En se référant aux enquêtes de l'accident sélectionné, l'incendie a commencé dans le

conséquences sur l'homme, le matériel et l'environnement et pour lequel les données sont disponibles.

L'accident du 05 octobre 2005 est représenté ci-dessous par un scénario d'arbre utilisant un diagramme appelé Nœud de papillon (voir Fig. 6) qui est un outil graphique utilisé pour illustrer un scénario d'accident [42].

réservoir de pétrole brut (S106) et s'est étendu à un réservoir adjacent (S105). La source (S106) était en remplissage à 70%. La spécification de TVR maximale (Tension de Vapeur Reid) est de 0,75 kg / cm² pour un réservoir à toit flottant. L'estimation du contenu de GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié) est de 3% (mol) à 0,75 kg/cm² et 5% (mol) à 0,95 kg/cm². Les simulations numériques permettent de suivre l'évolution spatio-temporelle des fumées libérées lors de l'accident afin de déterminer l'impact environnemental sur la population avoisinante. Les résultats obtenus comprennent la concentration de polluants, les effets thermiques et les effets de surpression sur la zone industrielle et la zone urbaine.

La première séquence accidentelle ne concerne que la fuite du brut générée par le réservoir S106. Un travailleur a identifié le réservoir S106 comme étant la source d'un nuage de gaz. Après l'allumage, il a vu une flamme revenir au toit du réservoir. Sachant que, les réservoirs à toit flottant n'étaient pas conçus pour contenir de grandes quantités de gaz qui s'évaporent et s'accumulent du côté sud-est du réservoir, au niveau de la route. Les estimations indiquent que le gaz s'évapore pendant le

remplissage avec un débit compris entre 1 et 4 kg/s. Ce matin, le gardien a dit qu'il n'y avait presque pas de vent, ce qui a conduit à l'accumulation du gaz au niveau du sol (figures 7 et 8).



Figure 7. Zone de menace toxique



Figure 8. Zone de menace thermique

Après l'inflammation du nuage de gaz, une très forte déflagration (Boil-Over), suivie d'un incendie, a eu lieu vers 09h: 30 au niveau du réservoir S106. L'incendie a commencé au centre du toit flottant S106. La déflagration a été entendue dans un rayon de plus de 5 km (Figs.9-11).



Figure 9. Zone de menace toxique



Figure 10. Zone de menace thermique



Figure 11. Zone de menace de surpression

Suite aux effets dominos, l'incendie s'était étendu à un deuxième réservoir adjacent (S105) (Fig. 12-14).



Figure 12. Zone de menace toxique



Figure 13. Zone de menace thermique



Figure 14. Zone de menace de surpression

Figures. 7 et 8 présentent les résultats de la simulation de la fuite du brut. Ces résultats sont identiques à ceux des enquêtes rapportées. La figure 7 présente les zones touchées par les effets toxiques suite à la fuite du gaz brut tandis que la figure 8 illustre les zones d'inflammabilité de ce gaz.

Figures. 9-14 présentent les résultats de simulation des séquences accidentelles. Les enquêtes réalisées par des équipes d'experts [46, 47] ont montré que la fumée contenait des polluants gazeux, notamment des NOx (Oxydes d'azote).

Les résultats de l'analyse statistique présentée dans les figures 3-5 et le tableau 1 montrent que les incendies et les explosions sont les accidents les plus fréquents à la raffinerie de Skikda et représentent 66,7% des accidents, comme l'indique Chang et Lin [5]. Sachant que 22% de ces accidents sont survenus en 2013 [33]. Cette augmentation est due à plusieurs facteurs, principalement :

- Le nombre important de démissions parmi les opérateurs expérimentés ;
- Manques du personnel et de compétences dans certaines unités opérationnelles ;
- Affectation des stagiaires ou de nouveaux employés aux postes spécifiques sans formation ni expérience,
- Manque d'expériences dans l'utilisation d'équipements de protection individuelle,
- Utilisation d'équipements et d'outils ne répondant pas aux normes et conditions météorologiques, etc.

Ces incendies et explosions sont principalement causés par les défaillances du matériel. Avec la forte présence du pétrole brut et de GNL et d'autres substances inflammables et explosives tel que le naphta B, le condensat, l'hydrogène et même le chlorure d'hydrogène en grandes quantités. Dans ces conditions, un accident non contrôlé couplé au manque de connaissance des réactions chimiques potentielles impliquées et les mauvaises manipulations de ces substances inflammables, peuvent conduire à des conséquences très graves que ce soit sur la santé des personnes, des pertes financières ou même des impacts environnementaux [33, 34]. Sachant que les décès et les blessures sont principalement causés par les incendies et les explosions (voir le tableau 1) avec 10 cas sur 15.

Selon le diagramme du Nœud de papillon (voir Fig. 6), la cause principale de l'accident du 5 octobre 2005 était une fuite du brut accumulé au sol autour du réservoir S106 avec une TVR élevée (0,910 kg / cm²). Sachant que cette fuite a été déclarée dans 12 accidents parmi 59 (voir Fig.3).

Pour simuler la dispersion de fumées générées par l'explosion, le code ALOHA a été utilisé, tous les résultats de la simulation sont illustrés sur les Figures 7-14. Comme mentionné ci-dessus, l'enquête menée par des équipes d'experts [46, 47] a montré que la fumée contient des polluants gazeux, en particulier des NOx (oxydes d'azote) ; un produit chimique toxique qui a des effets nocifs sur les être humain et l'environnement.

Pour étudier l'impact des NOx sur la population locale, les Figures 7, 9, 12 sont tracées. En effet, le NO₂ est un gaz très toxique dont l'inhalation

conduit à un œdème pulmonaire en raison de sa faible solubilité dans l'eau. Pour cet accident, on peut voir que la concentration de NO₂ dépasse le seuil de tolérance. Certaines valeurs de seuil de

concentration en NO₂ sont données dans le tableau 2 [48].

Tableau 2. Quelques valeurs de seuil de concentration de NO₂

Valeurs des seuils d'exposition Aux NO ₂ en ppm		
1 Heure	24 Heure	1 An
0.25	0.1	0.05

Comme il est montré sur les Fig. 10 et 11, les zones de menace thermique et de surpression se limitent aux zones internes de la raffinerie, ce qui peut causer des dommages matériels importants, mais ne s'étend pas à la population externe. Tandis que les figures 13 et 14 présentant les zones atteintes par le rayonnement thermique et les menaces de surpression suite à l'explosion du réservoir S106 et S105 (Troisième séquence accidentelle) montrent que les effets ne se limitent pas aux installations de la raffinerie, mais s'étendent à la population avoisinante causant le bris de verre. Sachant que la détonation a été entendue dans un rayon de plus de 5 km.

Selon notre étude, les rapports des investigations ainsi que les témoins, la fumée dépassait 200 m de hauteur et l'effet thermique a été ressenti à plus de 500 m du lieu de l'accident, affectant ainsi l'agglomération voisine. Cela a pu causer plusieurs cas de difficultés respiratoires en plus d'un énorme dommage matériel.

III.4. Retour d'expérience sur l'accident du 5 octobre 2005

Le retour d'expériences sur les accidents majeurs consiste à identifier les leçons pertinentes à retenir afin que ce genre d'accident ne se reproduise pas au futur [49]. Selon les rapports d'investigations, les dommages matériels et environnementaux ont été très graves dépassant 15 millions de dollars avec la perte de 279233 barils de pétrole brut. Afin d'éviter tous ces dommages, nous réitérons nos attentes pour la promotion de la prévention et tous les risques doivent être analysés, évalués puis atténués voir éliminés.

Les résultats obtenus permettent de déterminer les causes immédiates de ces accidents et, par conséquent, les méthodes, les moyens et les techniques appropriées de prévention et de protection. L'approche combinée présentée dans les sections précédentes a mis en évidence certains points importants, tels que :

Les réservoirs de stockage du terminal de Skikda sont conçus pour recevoir du pétrole brut dont le seuil maximum de TVR (Tension de Vapeur Raod) est de 0,738 Kg / cm². Cependant, le brut reçu avait

un TVR de 0,910 kg / cm², avec un vent faible (1 m / s) et suite à une fuite, les émissions de gaz ont été accumulées aux points bas composant une atmosphère inflammable. Ceci est une préoccupation importante car ces réservoirs sont fréquemment utilisés pour le stockage des hydrocarbures liquides inflammables et peuvent avoir une capacité de stockage élevée. Par conséquent, la perte de confinement peut entraîner un accident majeur. Cela indique la nécessité d'une analyse exhaustive du comportement des réservoirs de stockage atmosphérique afin d'identifier les systèmes et mesures de protection adéquats, tels que:

- Périmètre de sécurité de 100 mètre autour de chaque bac en réception/expédition pour éviter les effets domino ;
- Effectuer des inspections et nettoyage du toit après chaque remplissage ;
- Contrôler régulièrement l'atmosphère à l'intérieur du parc de stockage ;
- Réception du produit pétrolier sur 2 réservoirs simultanément ;
- Respecter la mesure et la surveillance et la déclaration du TVR ;
- Respect de l'arrêt périodique et des contrôles selon la réglementation algérienne ;
- Renforcer la supervision du travail ;
- Mise à niveau des installations fixes anti-incendie (Réseaux anti-incendie, pompes et réserves d'eau) ;
- Utilisez les systèmes automatisés de lutte contre l'incendie ;
- Fournir à l'installation des camions anti-incendie suffisants et adéquats ;
- Équiper l'installation d'une station météorologique ;
- Acquérir un nombre suffisant d'explosimètres et de balises de détection ;
- Identifier l'endroit le plus exposé (Unité) aux accidents pour les prendre en compte lors de la mise en œuvre des systèmes de sécurité (systèmes de détection et d'extinction d'incendie, etc.)
- Renforcer le personnel HSE et exploitation ;
- Renforcer le contrôle de l'accès.

Les valeurs obtenues pour les effets toxiques NO₂ sont inacceptables. Cela signifie que dans un accident similaire, toute la population sera exposée à une concentration intolérable de NO₂. Par conséquent, les personnes doivent être relocalisées dans un endroit plus sûr, et comme illustré dans la figure 12, les limites indiquent que le seuil de concentration peut être atteint au-delà de la distance de 1Km. A cet égard, nous proposons les mesures préventives suivantes :

- Identifier les substances impliquées pour éviter le manque de connaissances sur les réactions chimiques et les mauvaises manipulations de ces substances qui sont toxiques, inflammables et / ou explosives et qui peuvent provoquer des incendies et des explosions ;
- Déterminer la concentration des polluants et l'effet thermique généré par les accidents et vérifier s'ils sont conformes aux valeurs du seuil d'exposition ;
- Mettre en place une cartographie des risques de la zone via le niveau de concentration des polluants et leur effet toxique, thermique et surpression ;

Dans le cas étudié, la cause prédominante d'accidents était la défaillance des équipements, ainsi, nous proposons donc les mesures préventives et correctives suivantes :

- La modernisation des unités de la raffinerie de Skikda et le renouvellement des équipements de sécurité en particulier.

Pour éviter le manque de connaissance des employés sur la sécurité incendie, nous proposons de :

- Renforcer le personnel et les opérations HSE.
- Renforcer les connaissances de la sécurité et les compétences professionnelles par la formation de tous les employés et surtout des opérateurs travaillant sur des systèmes sous tension.

IV. Apports de l'approche proposée et conclusion

Ce travail présente une approche qui combine trois principaux outils de la gestion des risques industriels. Le premier outil est le retour d'expérience sur les accidents du raffinage signalés à la raffinerie de Skikda entre 2003 et 2018. Dans ce contexte, une base de données a été élaborée pour répertorier ces accidents industriels (incendies, explosions, fuites et rejets de substances), leurs causes, conséquences et bien d'autres informations. Les résultats d'une telle analyse sont ensuite utilisés comme données d'entrée dans le second outil qui est le logiciel ALOHA, appliqué pour étudier les différents effets générés par ces accidents. Et pour bien représenter les causes, les conséquences, les

moyens de prévention et protection déployés par l'entreprise, on a utilisé la méthode Nœud de papillon. Ainsi, cette approche peut être utilisée pour collecter, attribuer et analyser des accidents liés à la sécurité des processus industriels. La collecte d'informations sur les équipements dangereux et l'environnement de processus est très utile pour découvrir les situations dangereuses.

Par conséquent, les résultats de cette approche pourraient mener à une compréhension plus complète de l'accident industriel et peuvent être très utiles pour analyser les lacunes et identifier les meilleures pratiques à mettre en œuvre et les facteurs qui doivent être pris en compte pour prévenir la survenance de tels phénomènes accidentels et d'être bien préparés au pire.

En conclusion, cette approche pourrait servir de base à l'analyse des effets d'accidents et à l'évaluation des risques industriels. Si les autres industries ont réalisé l'étude environnementale au stade initial du danger et ont simulé le modèle de dispersion des vapeurs toxiques en utilisant le modèle ALOHA en reliant diverses mesures, les résultats de la simulation serviront non seulement de référence utile pour la prise de décision, mais également comme base pour informer les habitants des zones touchées sur les mesures de sécurité nécessaires afin d'assurer leur sécurité.

Sur la base de ce travail, des perspectives méritent d'être projetées. La première perspective de ce travail consiste en l'extension du cadre de l'approche proposée par la prise en compte des autres raffineries algériennes telles que la raffinerie d'Arzew, la raffinerie d'Alger et la raffinerie de Hassi Messaoud pour pallier le manque d'informations sur les accidents survenus dans tous les sites de raffinage en Algérie. L'analyse détaillée d'accidents a pu mettre en évidence le manque de connaissances sur les mesures de prévention, protection et intervention utilisées et leurs efficacités. Cet aspect pourra être ajouté à la base de données.

Pour améliorer les résultats de l'approche, on propose aussi de renforcer son modèle numérique en introduisant d'autres outils de simulation pour traiter les incertitudes des données d'entrée et utiliser des outils de gestion des risques autres que le nœud de papillon pour évaluer les causes et les effets des accidents et même définir leurs probabilités d'occurrence et la gravité.

V. References

1. Wood, M. H.; Gyenes, Z. Lessons learned from corrosion-related accidents in petroleum refineries. *Loss Prevention Bulletin* 246 (2015) 12-15.
2. La base de données ARIA, <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/> (Janvier 2020)
3. Kadri, F.; Châtelet, E. Domino effect analysis and assessment of industrial sites: A review of methodologies and software tools. *International*

- Journal of Computers and Distributed Systems* 2 (2013) 1-10.
4. Khan, F. I.; Abbasi, S. A. Accident hazard index : a multi-attribute method for process industry hazard rating. *Process safety and environmental protection* 75(4) (1997) 217-224.
 5. Chang, J. I.; Lin, C. C. A study of storage tank accidents. *Journal of loss prevention in the process industries* 19(1) (2006) 51-59.
 6. DNV. The risks arising from major accident hazards, lessons from the past, opportunities for the future, (2008) USA.
 7. Sweis, F. K. Fires and related incidents in Jordan (1996-2004). *Fire safety journal* 41(5) (2006) 370-376.
 8. Etkin, D. S. Estimating cleanup costs for oil spills. In *International Oil Spill Conference*, American Petroleum Institute 1999 (1999) 35-39.
 9. Dechy, N.; Dien, Y.; Llory, M. Les échecs du retour d'expérience : problématiques de la formalisation et de la communication des enseignements tirés. *16ème Congrès de maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement*, Avignon. LambdaMu (2008)1, 24.
 10. Hare, J.; Johnson, M.; Fullam, B. Learning from process safety incidents. In *Proceedings at IChemE Hazards XXI Conference*, Manchester, UK, 155 (2009) 10-12.
 11. Khan, F. I.; Abbasi, S. A. Major accidents in process industries and an analysis of causes and consequences. *Journal of Loss Prevention in the process Industries* 12(5) (1999) 361-378.
 12. Khan, F. I.; Abbasi, S. A. The world's worst industrial accident of the 1990s what happened and what might have been: A quantitative study. *Process Safety Progress* 18(3) (1999) 135-145.
 13. Hudson, P. Applying the lessons of high risk industries to health care. *Quality and safety in health care* 12 (2003) (suppl 1) i7-i12.
 14. Liu, T.; Zhong, M.; Xing, J. Industrial accidents: challenges for China's economic and social development. *Safety Science* 43(8) (2005) 503-522.
 15. Konstandinidou, M.; Nivolianitou, Z.; Markatos, N.; Kiranoudis, C. Statistical analysis of incidents reported in the Greek Petrochemical Industry for the period 1997-2003. *Journal of hazardous materials* 135(1) (2006) 1-9.
 16. Sweis, F. K. Fires and related incidents in Jordan (1996-2004). *Fire safety journal* 41(5) (2006) 370-376.
 17. Abdolhamidzadeh, B.; Abbasi, T.; Rashtchian, D.; Abbasi, S. A. Domino effect in process-industry accidents-An inventory of past events and identification of some patterns. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 24(5) (2011) 575-593.
 18. Zhang, H. D.; Zheng, X. P. Characteristics of hazardous chemical accidents in China: A statistical investigation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 25(4) (2012) 686-693.
 19. Mihailidou, E. K.; Antoniadis, K. D.; Assael, M. J. The 319 Major Industrial Accidents Since 1917 *International Review of Chemical Engineering* 4(6) (2012) 529-540.
 20. Cheng, C. W.; Yao, H. Q.; Wu, T. C. Applying data mining techniques to analyze the causes of major occupational accidents in the petrochemical industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(6) (2013), 1269-1278.
 21. Khan, F.; Ahmed, S.; Yang, M.; Hashemi, S. J.; Caines, S.; Rathnayaka, S.; Oldford, D. Safety challenges in harsh environments: lessons learned. *Process Safety Progress* 34(2) (2015) 191-195.
 22. Nivolianitou, Z.; Konstandinidou, M.; Michalis, C. Statistical analysis of major accidents, in petrochemical industry notified to the major accident reporting system (MARS). *Journal of hazardous materials* 137(1) (2006) 1-7.
 23. Tauseef, S. M.; Abbasi, T.; Abbasi, S. A. Development of a new chemical process-industry accident database to assist in past accident analysis. *Journal of loss prevention in the process industries* 24(4) (2011) 426-431.
 24. Calvo Olivares, R. D.; Rivera, S. S.; Núñez McLeod, J. E. Database for accidents and incidents in the biodiesel industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 29 (2014) 245-261.
 25. Shaluf, I. M.; Ahmadun, F. R.; Said, A. M. Fire incident at a refinery in West Malaysia: the causes and lessons learned. *Journal of Loss prevention in the Process Industries* 16(4) (2003) 297-303.
 26. Taveau, J. Explosion of fixed roof atmospheric storage tanks, Part I: Background and review of case histories. *Process Safety Progress* 30(4) (2011) 381-392.
 27. Fabiano, B.; Currò, F. From a survey on accidents in the downstream oil industry to the development of a detailed near-miss reporting system. *Process Safety and Environmental Protection*, 90(5) (2012) 357-367.
 28. Vastveit, K. R.; Boin, A.; Njå, O. Learning from incidents: Practices at a Scandinavian refinery. *Safety science* 79 (2015) 80-87.
 29. Chettouh, S.; Hamzi, R. Statistical Analysis of Accidents Reported in the Algerian Oil Refining Industry for the Period 2003-2013. *International Journal of Engineering Research and Technology* 2(12) 12 (2013) 2729-2735.
 30. Chettouh, S.; Hamzi, R. Algerian Oil Refining Industry : Analysis of Past Industrial Accidents of the Period 2002-2013. *World Applied Sciences Journal* 29(7) (2014) 933-939.
 31. Burgherr, P. In-depth analysis of accidental oil spills from tankers in the context of global spill trends from all sources. *Journal of hazardous materials* 140(1) (2007) 245-256.
 32. Chettouh, S. Modèles statistiques pour l'évaluation des incertitudes associées aux effets du risque incendie. *Thèse de doctorat*, université de Batna 2, Algérie, 2016.
 33. Chettouh, S.; Hamzi, R.; Benaroua, K. Examination of fire and related accidents in Skikda Oil Refinery for the period 2002-2013. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 41 (2016) 186-193.
 34. Hadeif, R. Quel projet urbain pour un retour de la ville à la mer à Cas de Skikda. *Mémoire de Magister*, Université de Constantine, Algérie (2008).
 35. Hardy, C. C.; Ottmar, R. D.; Peterson, J. L.; Core, J. E. Smoke management guide for prescribed and wildland fire. *National Wildlife Coordinating Group* (2001).
 36. NOAA. NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 43 ALOHA_ (Areal Locations of hazardous Atmospheres) 5.4.4. Technical Documentations, Seattle, Washington, November (2013). https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/ALOHA_Tech_Doc.pdf (juin 2019)
 37. Chettouh, S.; Hamzi, R.; Haddad, D.; Bourmada, N. Modèles numériques pour l'évaluation des effets de l'incendie sur l'environnement atmosphérique Application des logiciels : FLUENT, ALOHA. (2013). *Qualita* 13 (2013).
 38. Tseng, J. M.; Su, T. S.; Kuo, C. Y. Consequence evaluation of toxic chemical releases by ALOHA. *Procedia Engineering* 45 (2012) 384-389.

39. Zio, E.; Aven, T. Industrial disasters : Extreme events, extremely rare. Some reflections on the treatment of uncertainties in the assessment of the associated risks. *Process Safety and Environmental Protection* 91(1) (2012) 31-45.
40. Shahriar, A.; Sadiq, R. ; Tesfamariam, S. Risk analysis for oil & gas pipelines: a sustainability assessment approach using fuzzy based bow-tie analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 25(3) (2012) 505-523.
41. Jacinto, C.; Silva, C. A semi-quantitative assessment of occupational risks using bow-tie representation. *Safety Science*. 48(8) (2010) 973-979.
42. Khakzad, N.; Khan, F.; Amyotte, P. Dynamic risk analysis using bow-tie approach. *Reliability Engineering & System Safety* 104 (2012) 36-44.
43. Huijjer, K. Trends in oil spills from tanker ships 1995-2004. *International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF)*. London (2005) 30.
44. Khan, F. I. ; Abbasi, S. A. Estimation of probabilities and likely consequences of a chain of accidents (domino effect) in Manali Industrial Complex. *Journal of cleaner production* 9(6) (2001) 493-508.
45. Lewis, S. ; Smith, K. Lessons learned from real world application of the bow-tie method. In *6th Global Congress on Process Safety*. American Institute of Chemical Engineers San Antonio, Texas (2010), 472-483.
46. Cochet, S. Feux de Bac au Terminal RTE de Skikda”, Rapport d’Investigation n° 23507156. DNV Consulting (2005).
47. Whitehead, R. ; Cochet, S.; Bouda, R.; Haddadji, R.; Boussoualem, M. S. Accident du 04 Octobre 2005 RTE -Bacs S106 & S105. Report of the central direction HSE. SONATRACH, Algeria, 2005.
48. World Health Organization – Regional Office For Europe (OMS-Europe). WHO guidelines for indoor air quality: Selected pollutants, Copenhagen, World Health Organization – Regional Office for Europe, 484 (2010).
http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf (Octobre 2019)
49. Hopkins, A. Failure to Learn: BP Texas City Refinery Disaster”, CCH Australia, (2008)186.

Abreaveations

AHC	Acide Hydroxy-Citrique
AIA-REX	Algerian Industrial Accident REX
ALOHA	Areal Locations of Hazardous Atmospheres
GNL	Gaz Naturel Liquéfié
GPL	Gaz de Pétrole Liquéfié
HSE	Hygiène, Sécurité et Environnement
MARS	The European Major Accident Reporting System
NO ₂	Dioxyde d'azote
NO _x	Oxydes d'azote
Ppm	Particule par million
REX	Retour d'expérience
TVR	Tension de vapeur Reid

Please cite this Article as:

Chettouh S., Proposition d'une démarche de Retour d'Expérience pour l'évaluation et la prévention des accidents industriels, *Algerian J. Env. Sc. Technology*, 7:1 (2021) 1805-1818