

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



Département Maîtrise des Risques Industriels et Environnementaux
Filière QHSE-GRI
General Electric

Mémoire de Master en QHSE-GRI

Intitulé
Analyse du risque d'incendie dans la salle du décapage
chimique au niveau d'ALGESCO

TCHEKIKEN Fahima

Présenté et soutenu publiquement le 02/07/2017

Composition du jury :

Présidente	Mme. HARIK Djamilia	Professeur, ENP
Rapporteurs	Mr. CHERGUI Abdelmalek	Professeur, ENP
	Mr. KERTOUS Aboubakr	Maître assistant, ENP
	Mr. BOUSBAI Badreddine	Manager HSE, GE
Examineurs	Mme. HAOUCHINE Ouzna	Maître de conférences B, ENP
	Mr. NAMANE Abdelkader	Maître de conférences A, ENP
	Mr. BENMOKHTAR Amin	Maître assistant, ENP

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



Département Maîtrise des Risques Industriels et Environnementaux
Filière QHSE-GRI
General Electric

Mémoire de Master en QHSE-GRI

Intitulé

Analyse du risque d'incendie dans la salle du décapage
chimique au niveau d'ALGESCO

TCHEKIKEN Fahima

Présenté et soutenu publiquement le 02/07/2017

Composition du jury :

Présidente	Mme. HARIK Djamila	Professeur, ENP
Rapporteurs	Mr. CHERGUI Abdelmalek	Professeur, ENP
	Mr. KERTOUS Aboubakr	Maître assistant, ENP
	Mr. BOUSBAI Badreddine	Manager HSE, GE
Examineurs	Mme. HAOUCHINE Ouzna	Maître de conférences B, ENP
	Mr. NAMANE Abdelkader	Maître de conférences A, ENP
	Mr. BENMOKHTAR Amin	Maître assistant, ENP

ENP 2017

Dédicace

Je voudrai dédier ce travail à :

*Mon frère, Mohamed Yazid qui me manque atrocement. Je sais
que tu es mieux là où tu es !*

*A la plus belle femme au monde. Ma douce mère. Je ne te
remercierai jamais assez.*

A mon père, le roi qui a fait de moi une princesse.

A ma sœur, la meilleure au monde.

A Mon frère sa femme et son fils. Vous me manquez.

*A mes cousines chéries, Sarah et Loubna, ainsi que toute ma
famille en France.*

*A toutes les personnes qui m'ont aidée, Amine, Rami, Moncef,
Rahim et l'adorable Amira.*

*A toute ma famille (ammou Hamdane et khalti Djamila) et à
tous mes amis.*

Remerciements

Je tiens à remercier mes encadreurs Monsieur A. Chergui Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique, Monsieur A. Kertous Maitre-assistant à l'ENP, et Monsieur B. Bousbai Manager HSE à ALGESCO GE, pour leur disponibilité constante, leurs conseils et le temps qu'ils ont consacré pour m'aider à m'améliorer au mieux.

Mes remerciements s'adressent également à Madame D. Harik Professeur à l'ENP pour l'honneur qu'elle me fait en présidant le jury de ma soutenance, à Madame O. Haouchine Maitre de Conférences, à Monsieur A. Namane Maitre de Conférences à l'ENP et Monsieur A. Benmokhtar Maitre-assistant à l'ENP en tant qu'examineurs pour l'effort prodigué afin de corriger et d'améliorer ce travail.

Je voudrai remercier aussi tous les enseignants que j'ai eu durant ces trois dernières années à l'ENP. Merci pour cette formation enrichissante.

Je remercie enfin, toute personne ayant contribué de près ou de loin à ce modeste travail.

ملخص:

سابقا قمنا بدراسة تقييمية للمخاطر على مستوى محطة التخليل الكيميائية للشركة ALGESCO. في هذا العمل نهتم لخطر الحريق المحدد عن طريق هذه الدراسة. في البداية نقوم بتحديد أسباب هذا الحريق استنادا على الردود التجريبية وعلى تعداد لجميع المحاليل الموجودة في غرفة التخليل للدراسة قابلية الاشتعال لكل محلول. وبمجرد تحديد الأسباب، حساب الاحتمال الخاص به يتم تنفيذها بواسطة تحليل شجرة خطأ لمراقبة وقوعها. ثم يتم استكمال العمل بناء على اقتراح لأسباب تدابير محددة للحد من المخاطر التي تم تحديدها، ما هو المقترح هو الاستبدال من البولي ايثيلين وهو مركب تشكل المعدات من قبل PVC ولكن أيضا إنشاء جهاز للكشف عن ثاني أكسيد الكربون.

الكلمات المفتاحية: حريق، تحقيق , التخليل الكيميائي.

Abstract :

A risk assessment study was carried out at the ALGESCO chemical stripping station. This work focuses on the fire risk already found in this risk assessment. In the first place, it is a question of finding the causes of this fire. The study is based on feedback and a census of all products in the pickling room to study their flammability. The main cause being an electrical failure, to calculate its probability one proceeds by analysis by failure tree to observe their occurrence. Then, the work is complemented by a proposal for risk reduction measures specific to the identified causes, which is proposed is the substitution of the polyethylene which is the compound constituting the equipment by the PVC but also the installation of a CO₂ extinguisher.

Key words: Fire, investigation, chemical stripping.

Résumé:

Une étude d'évaluation des risques a été faite au sein de la station de décapage chimique d'Algescos. Ce présent travail s'intéresse au risque d'incendie déjà retrouvé par cette évaluation des risques. En premier lieu, il s'agit de retrouver les causes de cet incendie. L'étude s'appuie sur un retour d'expérience et sur un recensement de tous les produits se trouvant dans la salle de décapage pour étudier leur inflammabilité. La cause principale étant une défaillance électrique, on procède par analyse par arbre de défaillances afin de calculer sa probabilité, d'observer son occurrence et enfin de proposer des mesures de réduction de risque propres aux causes identifiées comme la substitution du polyéthylène qui est le composé constituant les équipements par le PVC mais aussi la mise en place d'un extincteur à CO₂.

Mots clés : Incendie, investigation, décapage chimique.

TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES FIGURES	
INTRODUCTION GENERALE	11
1. MISE EN CONTEXTE	13
1.1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE	13
1.2. PROCEDE DE DECAPAGE CHIMIQUE.....	13
1.2.1. Description du process de décapage chimique :	14
1.2.2. Stockage des substances chimiques :	15
1.2.3. Neutralisation des vapeurs acides	16
1.2.4. SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE L'INSTALLATION DE DECAPAGE :	17
1.3. PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS.....	19
2. FONDAMENTAUX SUR LE FEU ET LES INCENDIES	21
2.1. DEFINITIONS	21
2.2. TRIANGLE DE FEU	21
2.3. MESURE DE L'INDICE LIMITE D'OXYGENE (LOI).....	22
2.4. CLASSE DE FEU	23
2.5. MODES DE PROPAGATION DU FEU	23
2.5.1. Propagation du feu par déplacement de la chaleur :	24
2.5.2. Propagation du feu par déplacement de matières enflammées :	25
2.6. CONSEQUENCES D'UN INCENDIE	25
2.6.1. Conséquence sur l'homme :	25
2.6.2. Conséquences sur les biens :	26

2.6.3.	Conséquences sur l'environnement :	26
2.6.4.	Conséquences économiques :	26
3.	INVESTIGATION SUR L'ORIGINE DES INCENDIES DANS LE DECAPAGE CHIMIQUE.....	29
3.1.	RETOUR D'EXPERIENCE	29
3.2.	ACCIDENTS RECENSES	29
3.2.1.	Investigation sur l'origine de ces incendies :	31
3.3.	SUBSTANCES INFLAMMABLES DANS LA STATION DE DECAPAGE CHIMIQUE 32	
3.3.1.	Solutions utilisées dans le process décapage chimique :	32
3.3.2.	Dérivés des substances utilisées pour le décapage chimique :	32
3.3.3.	Produits des réactions entre solutions utilisées pour le décapage chimique :.	33
3.3.4.	Etude de l'inflammabilité des produits des réactions de neutralisation :	34
3.4.	PIECES DECAPEES ET REACTIONS DE DECAPAGE	34
3.5.	Matériaux des équipements de process	35
4.	ETUDE DES CAUSES D'INCENDIE	38
4.1.	ANALYSE PAR ARBRE DE DEFAILLANCES	38
4.1.1.	Défaillance du système de chauffage des bains :	39
4.1.2.	Défaillance électrique :	41
4.2.	POLYETHYLENE (PE)	44
4.2.1.	Etude de l'inflammabilité du PE.....	44
5.	REDUCTION DES RISQUES	48
5.1.	PREVENTION PASSIVE.....	48
5.2.	PREVENTION ACTIVE	49
5.2.1.	Détection :	49
5.2.2.	Moyens d'extinction à utiliser :	49

Table des matières

5.2.3. Contrôle des extincteurs CO ₂ :	50
5.2.4. Désenfumage :	50
5.2.5. Apport d'équipements de prévention électriques :	51
CONCLUSION GENERALE.....	53
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	55

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3-1 : Causes qui seraient à l'origine des accidents.	31
Tableau 4-1 : Probabilités des éléments de base de l'AdD de la surchauffe.	40
Tableau 5-1 : Moyens d'extinction pour chaque procédé.	49

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1: Processus de décapage chimique.....	15
Figure 1-2 : Emplacement des cuves de stockage dans le local de stockage.	16
Figure 1-3: Cuve dotée de système de chauffage.....	17
Figure 1-4 : Robots de déplacement.....	18
Figure 2-1 : Triangle du feu.....	22
Figure 2-2: Classes des feux.....	23
Figure 2-3 : Propagation du feu par déplacement de la chaleur.	24
Figure 4-1 : Arbre de défaillances de la surchauffe des bains d'acides	40
Figure 4-2 : Arbre de défaillances de la défaillance électrique.	44
Figure 4-3 : Courbe de l'évolution de la température lors d'un incendie. [5].....	45

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

L'incendie dans le secteur industriel est un sujet préoccupant et d'actualité permanente. Il est souvent question de grave accident induisant d'importants dégâts humains, matériels et environnementaux. Une évaluation de risques au sein de la station de décapage chimique d'ALGESCO a été faite. Cette évaluation a fait ressortir le risque d'incendie. L'étude n'a pas exploré ce volet, car on estimait que l'incendie n'est pas provoqué par le process de décapage mais plutôt par une défaillance électrique qui pourrait survenir dans n'importe quel autre atelier utilisant des équipements électriques (ce qui est le cas pour la majorité des ateliers).

Le présent travail viendra justement compléter l'étude de l'évaluation des risques dans le décapage chimique en traitant le risque d'incendie car sa prise en compte est obligatoire et s'inscrit dans la démarche globale d'évaluation et de prévention de risque dans une entreprise. [1] De plus, les conséquences d'un incendie pour l'entreprise sont souvent économiquement irrémédiables : dans près de 70% des sinistres, l'entreprise disparaît et le personnel se retrouve au chômage.

En premier lieu, l'entreprise en question est présentée dans le premier chapitre. La problématique étant fixée dans ce chapitre, on passe aux explications du phénomène d'incendie qu'on retrouve dans le chapitre 2.

La partie pratique de l'étude est décrite dans les chapitres qui suivent. Elle se déroule en trois étapes :

- La première et sans doute la plus importante, consiste à rechercher les causes des incendies. Cette étape est développée dans le chapitre 3.
- La deuxième consiste à évaluer le risque d'incendie. Ceci se fera par quantification des probabilités d'occurrence des événements déclenchant l'accident. Les résultats de cette étape sont exposés dans le chapitre 4.
- La dernière étape comporte les mesures de sécurité appropriées au risque retrouvé précédemment. Ces mesures sont proposées dans le chapitre 5.

De ce fait, le risque d'incendie serait étudié, évalué et maîtrisé.

Chapitre 1 :

Mise en contexte

1. MISE EN CONTEXTE

L'Algérie est l'un des plus gros producteurs et exportateurs de pétrole en Afrique, ses secteurs pétrolier et gazier font appel à des équipements de turbomachinerie puissants qui fonctionnent en permanence. Le décapage des revêtements des pièces est indispensable lors de leur maintenance. Un accident dans la salle de décapage chimique peut engendrer des dégâts allant jusqu'à l'arrêt de l'activité de l'entreprise.

1.1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

General Electric ou GE est un conglomérat américain fondé en 1892. GE Oil & Gas est le leader mondial pour la production d'équipements technologiques de pointe et la prestation de services spécialisés dans les domaines de l'industrie du pétrole et du gaz, du forage à la production de pétrole et de gaz, le transport et le stockage de gaz, la production de GNL, la génération industrielle d'électricité, le raffinage et le secteur de la pétrochimie. GE OIL&GAZ dispose également de solutions d'inspection d'intégrité des gazoducs.

GE OIL & GAS emploie plus de 12 000 personnes à travers le monde et est présent dans plus de 100 pays.

GE, en partenariat avec SONATRACH et SONELGAZ, a créé ALGESCO, un centre de maintenance de turbomachinerie situé à Boufarik. Cette nouvelle infrastructure d'environ 18.300 m² est le centre de services de turbomachines de GE OIL & GAS le plus important au monde. Représentant un investissement de \$36 millions, l'un des objectifs du projet est de soutenir la croissance des industries pétrolière, gazière et électrique en Algérie, tout en faisant la promotion de l'innovation technologique. [2]

1.2. PROCEDE DE DECAPAGE CHIMIQUE

Le décapage chimique s'effectue par immersion ou par aspersion, dans une solution d'acide minéral. Les réactifs de base courants sont des solutions d'acides chlorhydrique ou sulfurique, employés respectivement à température ambiante ou supérieure à 60 C.

Bien que chaque procédé présente des avantages et des inconvénients, le décapage chlorhydrique est souvent préféré au décapage sulfurique en raison de son efficacité à température ambiante et de l'aspect de la surface du produit décapé : faciès homogène de couleur

gris clair métallisé. En effet, toutes choses égales (concentration, température...), les milieux chlorhydriques présentent un meilleur pouvoir décapant que les milieux sulfuriques, propriété attribuable en partie à la différence de solubilité entre les chlorures et les sulfates. L'agressivité d'un bain de décapage sulfurique peut être améliorée par un ajout d'acide chlorhydrique.

Le décapage chimique est l'une des activités de traitement des pièces des turbines au sein du centre de turbo-machinerie de General Electric.

Le décapage chimique étant un procédé ayant pour but l'élimination des anciens revêtements thermiques d'une pièce, constitue l'une des premières étapes par lesquelles passe la pièce (aubes, ailettes) lors de sa maintenance. [3]

1.2.1. Description du process de décapage chimique :

Il s'agit d'un stripping chimique sur pale de turbines qui se déroule dans une installation automatique en ligne avec un robot. La productivité de l'installation est fonction du temps d'immersion dans la cuve de décapage. La puissance électrique nécessaire pour les équipements de l'installation est de 146.9 kW.

L'élimination des revêtements et des oxydes se fait par immersion des pièces dans des bains acides (acide chlorhydrique, acide phosphorique et acide fluorocilicique). Le décapage se fait par des réactions électrochimiques ayant lieu sur la surface de la partie immergée, le caractère corrosif de l'acide fragilise les liaisons entre la pièce et le revêtement et décompose ce dernier permettant ainsi de le retirer.

La pièce est ensuite introduite dans une cuve d'eau déminéralisée pour le rinçage, puis dans une cuve contenant une solution basique de soude caustique (NaOH), cette étape permet de neutraliser les résidus d'acide subsistant sur la surface de la pièce. Par la suite, la pièce subit un nettoyage par ultrason dans le but d'éliminer les résidus de métaux dans les microfissures de la pièce, là où l'acide n'a pas pu pénétrer. [3]

En dernier lieu, la pièce est séchée dans une autre cuve dans laquelle se trouve deux ventilateurs dotés de résistances. La figure 1-1 décrit les étapes et les équipements qu'il faut.

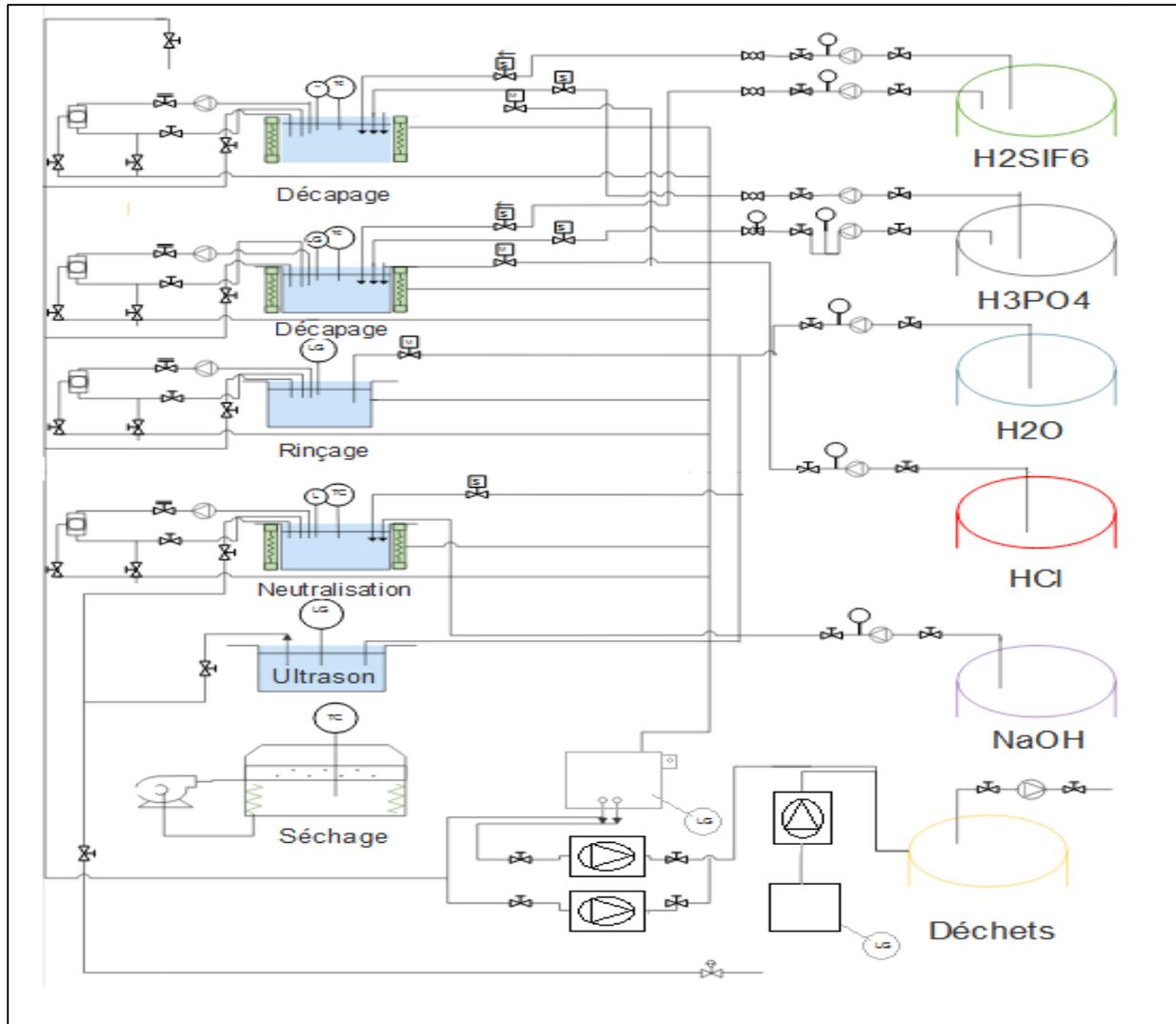


Figure 1-1: Processus de décapage chimique.

1.2.2. Stockage des substances chimiques :

Le local de stockage des substances chimiques est situé à côté de la chambre de décapage. Il comporte cinq grandes cuves de stockage en polyéthylène (PE) doublé d'un bac de rétention. Trois de ces cuves contiennent des acides minéraux forts :

- Acide chlorhydrique HCl (30 %) ;
- Acide phosphorique H₃PO₄ (75%) ;
- Acide fluorosilicique H₂SIF₆ (40%).

Le local de stockage avec les différentes cuves de stockage dans leur emplacement réel sont schématisés sur la figure 1-2 .

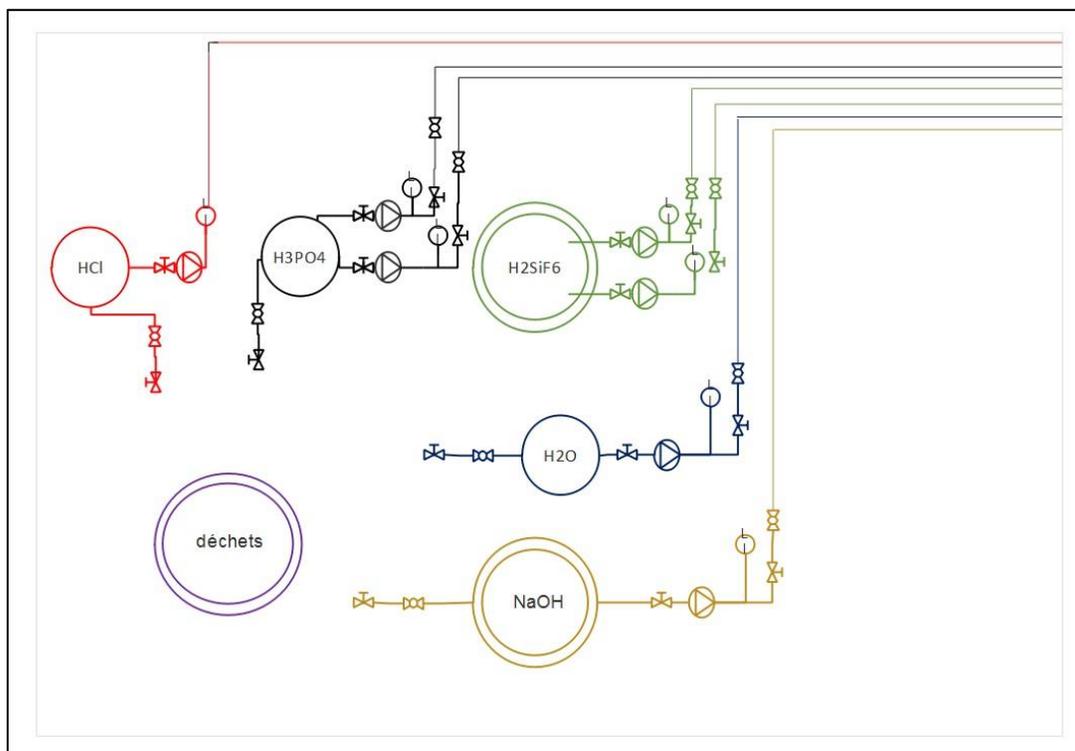


Figure 1-2 : Emplacement des cuves de stockage dans le local de stockage.

1.2.3. Neutralisation des vapeurs acides

Chaque opération de décapage chimique est précédée par un chauffage des bains acides et basiques. La température du bain varie entre 80° et 90°. Par conséquent, un dégagement de vapeur s'en suit. Ces vapeurs très toxiques pour l'homme et corrosifs pour les équipements sont aspirées et orientées vers une colonne d'absorption, appelée tour de lavage. Cette dernière est située de l'autre côté de la salle d'opération. La tour de lavage est chargée de traiter les vapeurs nocives provenant de la ligne de traitement.

1.2.4. SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE L'INSTALLATION DE DECAPAGE :

1.2.4.1. Cuves de base :

➤ Matériaux et dimensions :

Les cuves construites en PE sont revêtues extérieurement par une peinture antiacide. Les cuves contenant des solutions chimiques, devant être chauffées, sont calorifugées.

➤ Vidanges et alimentations :

Toutes les cuves sont équipées des composants suivants :

- Une vanne de vidange à bride en PVC (Polychlorure de vinyle) ;
- Un trop plein ;
- Un groupe d'alimentation d'eau, complet en PVC (vanne et régulation) ;
- Un groupe de mise à niveau automatique du bain en eau.

➤ Cuves pour chauffage des solutions chimiques :

Pour les bains devant être chauffés, les cuves sont équipées de thermoplongeurs adaptés à la solution chimique composant chaque bain. Toutes ces cuves sont équipées d'une sonde de température reliée elle-même à un thermostat de type digital et d'une sécurité de niveau pour protéger les éléments chauffants.



Figure 1-3: Cuve dotée de système de chauffage.

➤ **Aspiration des vapeurs émanées par les cuves :**

Chaque position nécessitant une aspiration des vapeurs est équipée d'une gaine d'aspiration. Celle-ci est disposée transversalement à la cuve. Les gaines sont équipées d'un piquage d'aspiration et munies d'un couvercle d'inspection amovible.

1.2.4.2. Robots et équipements reliés :

➤ **Les robots :**

Les robots assurent le déplacement des charges d'une cuve à l'autre. Chaque robot est doté de deux motoréducteurs avec frein et d'un carénage en PVC transparent. Ce dernier constitue une hotte d'aspiration des vapeurs lorsque les pièces sont extraites des cuves de traitement. Cette hotte est reliée à un collecteur parallèle aux chemins de roulement du robot.



Figure 1-4 : Robots de déplacement.

➤ **Ensemble d'aspiration :**

L'ensemble d'aspiration est composé d'un collecteur et de la tour de lavage.

➤ **Armoire de commande automatique :**

Le contrôle automatique est confié à un PC qui garantit :

- Le contrôle des robots ;
- Le contrôle des cycles ;
- La visualisation des positions et contrôle du process des pièces en traitement ;

-
- Le relevé des températures avec visualisation ;
 - Gestion des alarmes. [3]

1.3.PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS

La station de décapage chimique est une unité du centre de maintenance de turbines à gaz et à vapeur ALGESCO. De nombreux incendies ont été constatés dans les ateliers de décapage chimiques de différentes entreprises. Cependant, l'origine de ces incendies n'a pas été clairement mentionnée, car le retour d'expérience est construit à l'aide de rapports établis par les agents de la protection civile. Ces derniers se préoccupant plus par les conséquences de l'incendie et les moyens mis en œuvre pour l'éteindre, ne citent pas systématiquement les causes de l'accident.

Le décapage chimique fait intervenir différents agents chimiques, des équipements électriques et opère sur des pièces métalliques. Le présent travail a pour objectif de discerner lesquels des composants ou substances du process de décapage chimique provoquent ou favorisent les incendies recensés dans le retour d'expérience de manière à adopter les moyens préventifs et correctifs les plus adéquats.

Chapitre 2 :
Fondamentaux sur le feu et
les incendies

2. FONDAMENTAUX SUR LE FEU ET LES INCENDIES

L'homme est conscient qu'un incendie produit une importante chaleur qui pourrait détruire une grande partie des matériaux dans son environnement. En milieu industriel, l'accident peut être aggravé à cause de la présence de substances chimiques souvent dangereuses (inflammables, explosives ou toxiques).

Dans ce chapitre, le phénomène d'incendie est expliqué afin d'avoir une meilleure approche lors de l'investigation et pour rendre conscient de ses conséquences dévastatrices.

2.1. DEFINITIONS

Le terme « feu » fait référence à un phénomène produisant de la lumière et de la chaleur.

Un feu est une combustion produisant une température d'au moins 1500 K et généralement de l'ordre de 2500 K dans l'air. Un feu est un ensemble turbulent de flammelettes laminaires d'épaisseur d'environ 10^{-3} cm qui peut produire un taux d'énergie par unité de volume de l'ordre de 10^8 W/cm³.

Un incendie est un feu violent et destructeur. C'est une réaction de combustion exothermique non maîtrisée dans le temps et l'espace. Le feu devient un incendie en fonction de certains facteurs dont :

- Arrivée importante d'air qui apporte le comburant.
- Augmentation de la température du foyer.
- Nature et quantité de matières combustibles.

2.2. TRIANGLE DE FEU

L'apparition et la propagation d'un incendie sont conditionnées par la présence simultanée d'une source de chaleur, d'un comburant et d'un combustible schématisés par le triangle du feu (figure 2-1). En réalité, la combustion a besoin d'un quatrième élément. Les conditions de feu deviennent alors :

- Le combustible peut être de nature solide, liquide ou gazeux.
- Le comburant est généralement l'oxygène de l'air.
- L'énergie d'activation peut être thermique (flamme), naturelle (soleil), biologique (fermentation), chimique (oxydation), mécanique (frottement) ou électrique (statique ou dynamique).
- Les radicaux libres qui permettent la réaction en chaîne.

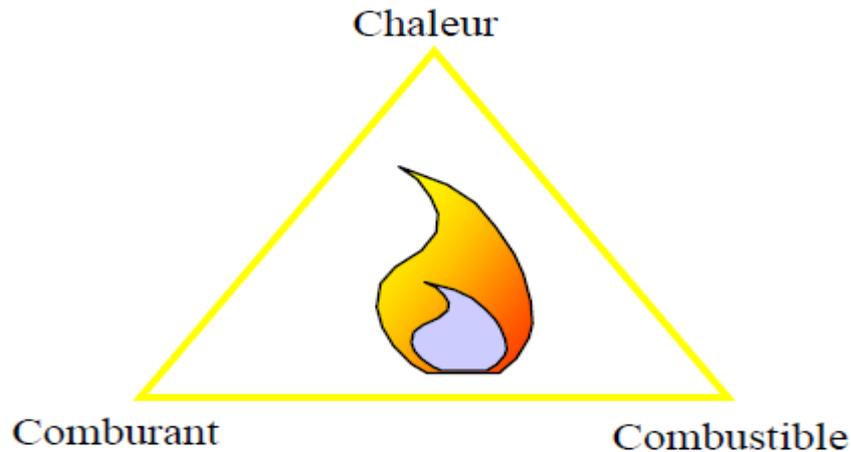


Figure 2-1 : Triangle du feu.

Deux définitions sont indispensables pour la compréhension des conditions de feu.

➤ **Point d'éclair :**

Le point d'éclair ou point d'inflammabilité est à la température la plus basse à laquelle un corps combustible émet suffisamment de vapeurs pour former, avec l'air ambiant, un mélange gazeux qui s'enflamme sous l'effet d'une source d'énergie calorifique, mais pas suffisamment pour que la combustion s'entretienne d'elle-même. Si l'inflammation ne nécessite pas de flamme pilote, on parle alors d'auto-inflammation. [4]

➤ **Point d'auto-inflammation :**

Le point d'auto-inflammation ou d'auto-ignition est la température à partir de laquelle une substance s'enflamme spontanément en l'absence de flamme pilote. [4]

2.3.MESURE DE L'INDICE LIMITE D'OXYGENE (LOI)

Inventé par Fenimore et Martin en 1966, le LOI caractérise l'inflammabilité relative des matériaux. Initialement normalisé aux Etats Unis (ASTM D 2863) et en France, la mesure du LOI constitue maintenant une norme internationale ISO 4589. [5]

Le LOI est le taux d'oxygène limite (dans un mélange O₂-N₂) en deçà duquel la combustion, dûment amorcée, ne se propage pas et au-delà duquel elle se propage.

Le taux d'oxygène dans l'atmosphère étant de 21 %, les matériaux ayant un LOI inférieur à 21% seront classés combustibles, alors que les matériaux pour lesquels le LOI est

supérieur à 21% seront classés auto-extinguibles, leur combustion ne peut se propager sans un rapport externe d'énergie. [5]

2.4. CLASSE DE FEU

Les feux peuvent être classés selon le combustible. Généralement, il y a quatre classe de feu.

- Classe A : Feux de matières solides tels que le bois, le papier et les plastiques.
- Classe B : Feux de liquides ou de solides liquéfiables tels que l'essence, le mazout, et le goudron.
- Classe C : Feux de gaz tels que le butane, le propane et l'hydrogène.
- Classe D : Feux de métaux tels que le sodium et le potassium.
- Classe F : Feux liés aux auxiliaires de cuisson comme les huiles et les graisses végétales et animales.

Ces classes sont illustrées sur la figure suivante.



Figure 2-2: Classes des feux.

Une autre classe de feu vient s'ajouter à celles déjà vues, il s'agit des feux d'origine électrique. Ces derniers sont de classe E.

2.5. MODES DE PROPAGATION DU FEU

En l'absence de détection et d'alarme et en cas d'insuffisance de moyens de lutte contre l'incendie, un foyer d'incendie, souvent peu important à l'origine, peut engendrer un incendie de grande envergure. [6] . Ceci résulte de plusieurs paramètres qui sont :

- Quantité de combustible présent.
- Pouvoir calorifique du combustible.
- Forme physique des matériaux.

- Produits de décompositions (si ce sont des gaz combustibles).
- Degrés hygrométrique (sécheresse, humidité).
- Ventilation et la circulation des gaz.
- Température.
- Nature du local en feu (dimension, géométrie, ...etc.)

Seulement, la propagation du feu fait intervenir deux paramètres. Ces derniers sont la chaleur et les matières enflammées.

2.5.1. Propagation du feu par déplacement de la chaleur :

Comme le montre la figure, la chaleur du feu peut se propager selon les trois modes ci-dessous :

- **Rayonnement** : le feu dégage de la chaleur qui va chauffer toutes les matières qui sont à côté et aussi l'air ambiant.
- **Conduction** : c'est le passage de chaleur à travers les matériaux.
- **Convection** : c'est l'élévation des gaz chauds et des fumées chauffant à leur tour les objets et matière avec qui ils rentrent en contact.

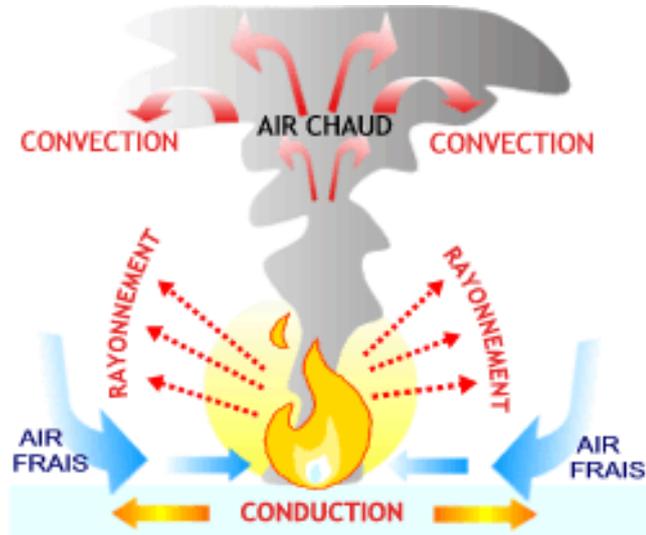


Figure 2-3 : Propagation du feu par déplacement de la chaleur.

2.5.2. Propagation du feu par déplacement de matières enflammées :

Lors d'un déroulement de feu, les matières enflammées se déplacent selon ces trois modes de propagation :

- **Projection** : lorsqu'un solide brûle, il peut engendrer la formation de brandons, des éclats de bois ou des escarbilles, petites particules incandescentes qui, lorsqu'elles sont transportées par les phénomènes de convection ou plus simplement par le vent, peuvent propager l'incendie au-delà du bâtiment d'origine.
- **Epandage** : c'est le déplacement du feu par les liquides enflammés.
- **L'inflammation généralisée (flash-over)** : Le phénomène de flash-over correspond à l'embrassement généralisé dans la phase de croissance de l'incendie : c'est le point critique de l'évolution de l'incendie. Lorsque l'apport en air frais est suffisant, l'incendie poursuit sa progression jusqu'à un stade particulier se traduisant par une élévation importante de la température dépassant les 500°C.

2.6. CONSEQUENCES D'UN INCENDIE

L'incendie d'un établissement industriel ou commercial a des impacts, directs et indirects, sur l'homme, l'entreprise et l'environnement.

2.6.1. Conséquence sur l'homme :

L'incendie peut entraîner de graves séquelles sur les personnes :

- Décès.
- Brulures.
- Blessures liées à l'effondrement des structures.
- Lésions visuelles provoquée par l'effet lumineux de la flamme

Les gaz et fumées qu'ils dégagent entraînent à leur tour de graves séquelles sur les personnes aussi :

- Asthme.
- Insuffisance respiratoire.
- Intoxication.
- Asphyxie mortelle.

Si la plupart des accidents se déclarent le jour, la majorité des accidents mortels ont lieu la nuit, lorsque l'attention est nulle. C'est également la nuit que les systèmes de préventions traditionnels montrent leur limite.

La fumée est responsable de 80% des décès. Elle reste, lors d'un incendie, l'élément le plus dangereux. Dans un incendie, la propagation des fumées précède toujours celles des flammes. Composée de gaz et vapeurs toxiques dont le monoxyde de carbone et le cyanure, la fumée occupe peu à peu la place de l'oxygène dans l'air. La fumée n'est pas ressentie par l'homme, elle intoxique et donc tue. [6]

2.6.2. Conséquences sur les biens :

Outre les dommages sur les personnes, les incendies touchent les biens. En effet, lors d'un incendie, le feu n'est pas le seul dégât qui peut toucher vos biens. Lors de la combustion le feu dégage des suies et des vapeurs chlorées, extrêmement volatiles qui s'insinuent dans les moindres recoins et notamment à l'intérieur des appareils électroniques. Si le nettoyage n'est pas pris en charge par des spécialistes de l'assainissement, ces particules oxydent les circuits électroniques ce qui a pour effet de favoriser les courts circuits et échauffements et donc les incendies ultérieurs.

2.6.3. Conséquences sur l'environnement :

L'entreprise n'est pas la seule à être endommagée en cas de sinistre : l'environnement en subit également les conséquences : pollution de l'air par les gaz de combustion, des sols, de l'eau par les produits extincteurs et les eaux de ruissellement, pollution visuelle (dégradation du paysage) et production de déchets parfois non destructibles.

2.6.4. Conséquences économiques :

Par ailleurs, un incendie a des conséquences financières, pour le salarié qui peut perdre son emploi et pour le chef d'entreprise : ce dernier en assume quasiment toutes les conséquences financières (indemnisation des victimes, remplacement du matériel, reconstruction des locaux, arrêt de la production...).

On déplore généralement de gros dégâts (fermeture plus ou moins longue de l'entreprise) auxquels vient s'ajouter une perte d'exploitation plus ou moins grave telle que la perte de données informatiques n'ayant pas été copiées, la destruction des stocks et des outils de production, la perte des sous-traitants se tournant vers d'autres clients, la dégradation de l'image de marque. [5]

Conclusion

Une corbeille à papier qui commence à prendre feu peut causer en 6 minutes à peine un incendie incontrôlable qui se propagera extraordinairement vite. Pourtant, dans la plupart des cas, l'incendie peut être évité. Il suffit simplement de s'organiser et de prendre quelques petites mesures de prévention.

Chapitre 3 :

**Investigation sur l'origine
des incendies dans le décapage
chimique**

3. INVESTIGATION SUR L'ORIGINE DES INCENDIES DANS LE DECAPAGE CHIMIQUE

Maintenant que le phénomène incendie est bien défini, il est possible de faire une étude sur les événements le déclenchant. Le comburant étant l'oxygène, il est considéré comme présent en abondance dans la salle. La chaleur ou l'énergie d'ignition peut être apportée par plusieurs manières ; la chaleur de l'air, une étincelle électrique, une énergie statique ...etc. Ce qui nous reste à retrouver pour former le triangle de feu est le combustible. Dans ce chapitre, nous allons rechercher les causes pouvant induire à un incendie dans la salle de stockage.

3.1. RETOUR D'EXPERIENCE

A l'aide du retour d'expérience, nous pouvons extraire les incendies se produisant dans des stations de décapage chimique. Faire une analyse pour explorer ceux qui sont similaires au décapage chimique présent dans le site dans lequel la présente étude est faite. Faire une investigation afin de découvrir l'origine de cet accident et déduire si ce dernier peut avoir lieu dans le décapage chimique en question.

3.2. ACCIDENTS RECENSES

Un grand nombre d'incendies ayant lieu en France, dans des stations de décapage chimique, ont été répertoriés sur la base de données ARIA.

➤ Incendie 1

Le 19/02/2012, Un feu se déclare vers 23h30 dans une entreprise de traitement de surface de 5 000 m² spécialisée dans le décapage par trempage dans des bains acides ou basiques. Le volume total des bains est de 89,4 m³. Les installations sont en service depuis novembre 2011.

L'incendie se propage dans le bâtiment par la toiture, via les panneaux rigides de laine de verre revêtus d'un pare-vapeur en kraft d'aluminium, ainsi que par les chemins de câbles électriques. Les pompiers maîtrisent le sinistre pour éteindre un bac d'acide en feu. L'intervention des secours est compliquée par l'enfumage important des locaux en l'absence d'exutoires et par l'éloignement (300 m) de l'un des 2 poteaux incendie utilisés pour l'extinction. Aucune fiche de données de sécurité des produits chimiques employés sur le site n'est disponible. Les pompiers ont également dû forcer le portail d'entrée de l'établissement, non débrayable en l'absence d'électricité. L'intervention des secours s'achève à 8h15. L'outil de production est détruit et notamment le laveur et le réseau d'aspiration, les installations et

armoires électriques ainsi que 20 cuves de 1 m³ d'acide phosphorique et d'hydroxyde de potassium.

20 salariés sont en chômage technique. L'atelier n'est plus protégé des intempéries, des bardages et des tôles de couverture du bâtiment étant également détruits ; la toiture ne s'est cependant pas effondrée. Les eaux d'extinction et les écoulements de produits chimiques ont été confinés sur le site.

L'inspection des installations classées propose au préfet un arrêté de mesures d'urgence.

➤ **Incendie 2**

Le 07/12/2011, Vers 4h45, un feu se déclare sur une ligne de traitement de surface comportant 10 baignoires (acide, chrome, nickel, zinc...).

L'exploitant ne possédait pas de bassin de récupération des eaux d'extinction incendie. Une entreprise spécialisée récupère 10 m³ de déchets liquides, dont les baignoires des bacs de traitement. L'intervention des secours s'achève à 10h30.

Le service d'inspection a relevé l'absence de contrôle périodique des installations électriques depuis 2008. L'atelier de 400 m² et 1 000 m² de la toiture du bâtiment sont détruits. 15 salariés travaillant au laitonage et au nickelage sont en chômage technique.

➤ **Incendie 3**

12/10/2011, Un feu très fumigène se déclare vers 18h30 dans un bâtiment à structure métallique de 1 500 m² abritant la chaîne de nickel d'une entreprise de traitement de surface. Les cuves de rétentions en plastique d'acide chlorhydrique, de soude et de rinçages ont fondu entraînant un déversement d'acide et de soude dans LE TRUISON qui borde le site.

Un pompier incommodé par les fumées et le bâtiment est gravement endommagé.

La remise en service de l'atelier est subordonnée à une nouvelle demande d'autorisation préfectorale.

➤ **Incendie 4**

23/02/2006, Dans une usine de traitement de surface de pièces automobiles, un feu se déclare vers 7h30 au niveau d'un bain de décapage contenant 2 000 l d'acide chlorhydrique. Malgré l'intervention du chef d'atelier avec les moyens de secours internes, le sinistre se propage par les gaines de ventilation en polypropylène à 4 500 des 10 000 m² du bâtiment. Un important panache de fumées noires est émis ; la circulation sur la RN 205 est interrompue et une limitation de la vitesse est mise en place sur l'A 40.

Les dommages matériels sont importants : le toit de l'atelier à charpente lamellé-collé est en partie effondré et 3 chaînes de traitement sont détruites.

40 employés parmi 192 seraient en chômage technique. Un des 2 pompiers légèrement brûlés par des substances chimiques durant l'intervention, est soignée à l'hôpital.

➤ Incendie 5

15/09/2002, Lors de la mise en chauffe de certains bains de traitement, un employé voit un départ de feu en toiture sur l'une des installations d'aspiration et de lavage des vapeurs. A l'arrivée des pompiers, l'incendie concerne 300 m² d'atelier autour du groupe d'aspiration. Le feu se propage rapidement sous la toiture notamment par l'isolation en panneaux de polystyrène sur la partie ancienne du bâtiment, et se généralise à ses 6 700m².

L'absence d'arrêt sur détection incendie et de clapets coupe-feu empêchant des retombées de feu en des points éloignés du sinistre originel, a favorisé l'extension du feu par les gaines de ventilation parcourant le bâtiment. Celui-ci, sans recoupement autre que les murs du local de stockage des produits chimiques, franchis par le feu à leur partie haute sous toiture, n'est pas équipé d'un réseau d'extinction automatique ni de dispositifs de désenfumage. L'exploitant reconstruira avec une détection incendie coupant la ventilation, un chauffage des bains par chaudière à gaz et un mur de recoupement coupe-feu.

Deux employés et quatre pompiers blessés sont évacués vers un hôpital. Des soins sont donnés sur place à 11 pompiers pour des irritations cutanées aux pieds, leurs bottes étant attaquées par les acides. [7]

3.2.1. Investigation sur l'origine de ces incendies :

Le tableau 3-1 regroupe toutes les causes qui seraient, d'après les rapports, à l'origine des accidents cité au-dessus. Les incendies sont distingués selon la numérotation adoptée dans le retour d'expérience précédente.

Tableau 3-1 : Causes qui seraient à l'origine des accidents.

N° de l'incendie	Cause
1	Défaillance électrique.
2	Défaillance électrique ou défaillance du système de réchauffage des bains.
3	Défaillance électrique.
4	Défaillance électrique.
5	Incident électrique sur une résistance de chauffage d'un bain ou sur un ventilateur.

Les causes retrouvées au moyen de cette investigation sont la défaillance électrique et la défaillance du système de réchauffage des bains. Les deux défaillances dernières sont plausibles dans la station de décapage chimique visée par cette étude. En effet, des équipements électriques sont mis en place dans l'atelier de décapage chimique et les bains d'acides sont chauffés à l'aide de thermoplongeurs.

3.3. SUBSTANCES INFLAMMABLES DANS LA STATION DE DECAPAGE CHIMIQUE

Le procédé de décapage chimique fait appel à différents produits lors de son opération. Il serait judicieux de recenser tous ces corps pour chercher lesquels d'entre eux peuvent provoquer l'incendie.

3.3.1. Solutions utilisées dans le process décapage chimique :

Dans un premier temps, on s'intéresse aux solutions utilisées dans le process de décapage chimique, car elles sont en grande quantité et se trouvent dans les deux salles (atelier de décapage chimique et salle de stockage). Il est indispensable alors de les rassembler afin d'étudier leur inflammabilité. Ces substances sont : l'eau, l'acide chlorhydrique, l'acide phosphorique, l'acide fluorosilicique et l'hydroxyde de sodium.

Le degré d'inflammabilité des substances utilisées dans le décapage chimique est nul ; aucun d'elle ne déclencherait un incendie ou l'aggraverait et aucune d'elle n'aurait pu être l'origine des incendie répertoriés dans le retour d'expériences.

3.3.2. Dérivés des substances utilisées pour le décapage chimique :

D'après les résultats précédents, les solutions utilisées dans le décapage chimiques contiennent des composés ininflammables. Cependant certains composés ont des dérivés qui pourraient être l'origine de ces incendies. Par exemple, l'acide phosphorique qui est un triacide minéral, il cède en solution trois protons pour former trois bases conjuguées. Nous allons donc traiter l'inflammabilité des dérivés de chaque composé. Ces dérivés sont : Ion dihydrogénophosphate, l'ion hydrogénophosphate, l'ion phosphate, le fluorure d'hydrogène, le tétrafluorure de silicium.

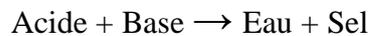
Les dérivés des composés présents dans la salle de décapage chimique sont ininflammables. Ils n'auraient donc pas pu être l'origine d'un incendie.

3.3.3. Produits des réactions entre solutions utilisées pour le décapage chimique :

Maintenant que nous savons que les composés des solutions utilisées dans le décapage chimique ne sont pas inflammables, on étudie l'inflammabilité des composés produits lorsqu'ils réagissent entre eux.

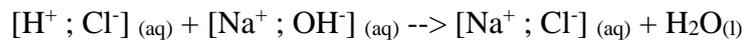
Le mélange des solutions acides ne génère aucun produit, d'ailleurs pour le premier bac de l'opération de décapage contient un mélange d'acide à différentes proportions.

Les acides réagissent avec la base. Ces réactions sont appelées des réactions de neutralisation, elles produisent toutes de l'eau et un sel.



Les différentes réactions pouvant avoir lieu dans la salle de décapage chimique sont les suivantes :

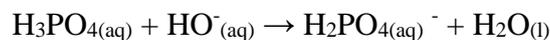
- **Neutralisation l'acide chlorhydrique par l'hydroxyde de sodium**



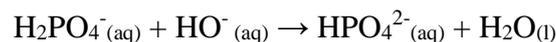
- **Neutralisation l'acide phosphorique par l'hydroxyde de sodium**

Comme il s'agit d'un triacide, en réalité trois réactions auront lieu. L'acide phosphorique réagit en premier sur la soude. Les ions sodium sont spectateurs, ils ne participent pas à la réaction (seulement à l'équilibre électronique) donc on peut les retirer de l'équation bilan.

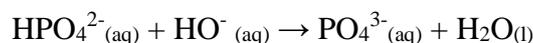
Première acidité :



Deuxième acidité :

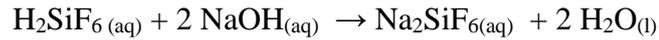


Troisième acidité :

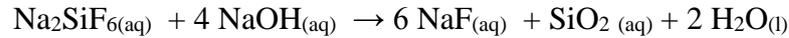


- **Neutralisation l'acide fluorosilicique par l'hydroxyde de sodium**

L'hydroxyde de sodium agit sur de l'acide fluorosilicique H_2SiF_6 aqueux pour donner ainsi du fluorosilicate de sodium Na_2SiF_6 :



La quantité de réactifs de cette réaction doit être maîtrisée car l'excès de base conduit à l'hydrolyse du fluorosilicate :



3.3.4. Etude de l'inflammabilité des produits des réactions de neutralisation :

Les sels produits par les réactions de neutralisation sont le chlorure de sodium l'ion dihydrogénophosphate l'ion hydrogénophosphate, l'ion phosphate, le fluorosilicate de sodium, le fluorure de sodium et le dioxyde de silicium. Ils sont tous ininflammables. On peut ainsi déduire qu'aucun de ces produits ne peuvent être à l'origine d'un incendie.

3.4. PIÈCES DECAPÉES ET REACTIONS DE DECAPAGE

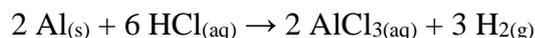
Le décapage chimique procède sur des ailettes et des aubes, ces dernières sont des pièces métalliques recouvertes d'un revêtement constitué d'un alliage de métaux. Les pièces ne sont pas à l'origine des incendies, car elles sont composées de métaux ininflammables.

Lors de l'opération de décapage chimique, les solutions acides agissent sur le revêtement pour le décoller de la pièce. Ceci se fait suivant des réactions bien précises.

Les solutions de décapage sont un mélange de plusieurs acides et le revêtement est un alliage de plusieurs métaux. Cependant, toutes les réactions entre les acides décapants et les métaux du revêtement produisent de l'hydrogène gazeux.

Exemple de réaction :

Supposons que l'acide chlorhydrique de la solution acide réagit avec l'aluminium du revêtement à 80°C, qui est la température de la solution dans la cuve. Ceci se fait suivant les réactions suivantes :



Le revêtement couvrant juste la surface, sa quantité est par conséquent très faible, la quantité de dihydrogène produit est donc petite aussi. De plus, ces réactions sont de cinétique lente ; les pièces mettent au minimum 8heures pour que le revêtement soit décapé.

Le décapage en milieu acide est donc un traitement générateur d'hydrogène. Le mécanisme d'évolution de l'hydrogène se produit en plusieurs étapes successives : une réaction qui fait apparaître l'espèce adsorbée, suivie d'une désorption chimique ou électrochimique (suivant la

nature du métal) qui conduit à la production d'hydrogène moléculaire. Une quantité variable d'hydrogène adsorbé peut diffuser dans le métal et y être absorbé. [8]

L'hydrogène étant un gaz très léger, plus léger que l'air il remonte dès qu'il est produit par la réaction. La hotte va donc l'aspirer vu qu'elle se trouve juste au-dessus des bacs de décapage. Le dihydrogène va être entraîné jusqu'à la tour de lavage ou d'absorption. Dans cette dernière, les gaz absorbés sont solubilisés dans l'eau. En effet, les arrosoirs se trouvent en haut de la tour et pendant que l'eau coule, les gaz remontent. L'eau entraîne avec elle ces gaz, et le tout est emmené vers le bac de déchets. Cependant, une quantité de gaz s'échappe de la tour (par la cheminée) sans qu'elle rentre en contact avec l'eau.

Dans tous les cas, le dihydrogène il est absorbé par l'eau de la tour de lavage, absorbé par les métaux de la pièce ou bien il s'échappe de la tour vers l'extérieur où il se propage très rapidement. Une aussi petite quantité d'hydrogène ne peut donner lieu à un incendie de grande ampleur.

3.5. Matériaux des équipements de process

Les équipements peuvent être construits avec des matériaux inflammables et peuvent ainsi causer un incendie dans la salle de décapage chimique.

Dans la salle des opérations, on trouve 6 cuves contenant différentes solutions (mélange d'acides, la base et l'eau). Le contenu de ces cuves étant ininflammable, on étudie l'inflammabilité du contenant.

Le matériau constituant ces cuves est le polyéthylène. Dans le décapage chimique à ALGESCO, le polyéthylène est utilisé pour ses caractéristiques physicochimiques. En effet, le polyéthylène présente l'avantage d'être totalement inerte chimiquement pour de grandes plages de températures. Ce matériau brûle facilement et entièrement en rejetant du CO₂ et de l'eau. Par conséquent, il pourrait être à l'origine d'un incendie dans la station de décapage à ALGESCO.

Le retour d'expérience montre que la station de décapage chimique n'est pas exempte du risque d'incendie. Deux événements sont jugés à l'origine des incendies étudiés dans le retour d'expérience : la défaillance électrique et la défaillance du système de réchauffage des bains. Une partie de l'étude va donc aborder la défaillance électrique dans la station de décapage chimique d'ALGESCO et la défaillance de son système de chauffage des bains.

Les solutions utilisées pour le décapage chimique, leurs dérivés et les produits de leurs réactions sont ininflammables. Ils sont par conséquent, exclus des éventuelles causes des incendies dans le décapage chimique. Le PE dont est constitué la majorité des équipements présents dans le décapage chimique présente un risque d'incendie. Un volet sera alors consacré à l'étude de son inflammabilité.

Chapitre 4 :

Identification des causes d'incendie

4. ETUDE DES CAUSES D'INCENDIE

Lors de l'investigation, deux évènements ont été retenus à l'aide du retour d'expérience. Ces évènements sont la défaillance du système du chauffage des bains et la défaillance électrique. La connaissance de leurs probabilités va nous être très utiles, afin de pouvoir les considérer comme les causes des incendies dans la station de décapage chimique.

Dans cette partie, nous allons appliquer l'analyse par arbre de défaillance aux défaillances identifiés dans le retour d'expérience afin de calculer leur probabilité.

4.1. ANALYSE PAR ARBRE DE DEFAILLANCES

C'est un diagramme déductif qui va de l'effet vers la cause et qui a pour objet de rechercher toutes les combinaisons de défaillances élémentaires (primaires) pouvant déboucher vers une panne.

L'analyse par Arbre de Défaillances est employée pour identifier les causes relatives aux évènements redoutés. En partant d'un événement unique, il s'agit de rechercher les combinaisons d'évènements conduisant à la réalisation de ce dernier. L'analyse par Arbre de Défaillances peut également être utilisée dans le cadre d'une reconstitution des causes d'un accident. [9]

La méthode consiste en une représentation graphique des multiples causes d'un événement redouté. Elle permet de visualiser les relations entre les défaillances des équipements, les erreurs humaines et les facteurs environnementaux qui peuvent conduire à des accidents. On peut donc éventuellement y inclure des facteurs reliés aux aspects organisationnels. L'analyse par Arbre de Défaillances se déroule généralement en trois étapes :

- Spécification du système et de ses frontières ;
- Spécification des évènements redoutés préalablement identifiés ;
- Construction des arbres de défaillances : On cible les évènements redoutés un par un et on essaye d'identifier les successions et les combinaisons d'évènements de base permettant de les atteindre.

Toutefois, un événement de base doit répondre à un certain nombre de critères, en l'occurrence :

- Il doit être indépendant des autres évènements de base ;
- Il ne doit pas être décomposable en éléments plus simples ;

- Il doit avoir une fréquence évaluable.

Le calcul de la probabilité de l'événement sommet se fait à travers la propagation des probabilités d'occurrence des événements de base vers le sommet. L'affectation des probabilités des événements de base se fait par extraction des bases de données OREDA.

4.1.1. Défaillance du système de chauffage des bains :

Avant de procéder à l'opération de décapage chimique, les solutions d'acides sont chauffées pour garantir un meilleur rendement. Ces solutions contiennent des acides en différentes proportions. Les acides en question sont l'acide chlorhydrique, l'acide phosphorique et l'acide fluorosilicique,

Le chauffage se fait grâce à des thermoplongeurs. Les cuves contenant les acides sont par conséquent équipées d'une sonde de température reliée à un thermostat.

D'après le retour d'expérience, une défaillance dans le système de chauffage des bains d'acides pourrait être la cause d'un incendie d'une grande ampleur. Deux défaillances du système de chauffage des bains pourraient avoir lieu :

- Refroidissement des solutions à chauffer.
- Surchauffe.

Le refroidissement des solutions a un impact sur le temps de décapage et donc sur la qualité du process, mais ne donne pas lieu à un incendie. Nous allons donc nous intéresser au cas de la surchauffe. Nous élaborons ainsi un arbre de défaillance pour calculer sa probabilité.

➤ Elaboration de l'arbre de défaillances

Lors de l'élaboration de l'AdD nous avons identifié toutes les causes pouvant mener à la surchauffe des bains d'acides. La figure suivante représente l'arbre retrouvé.

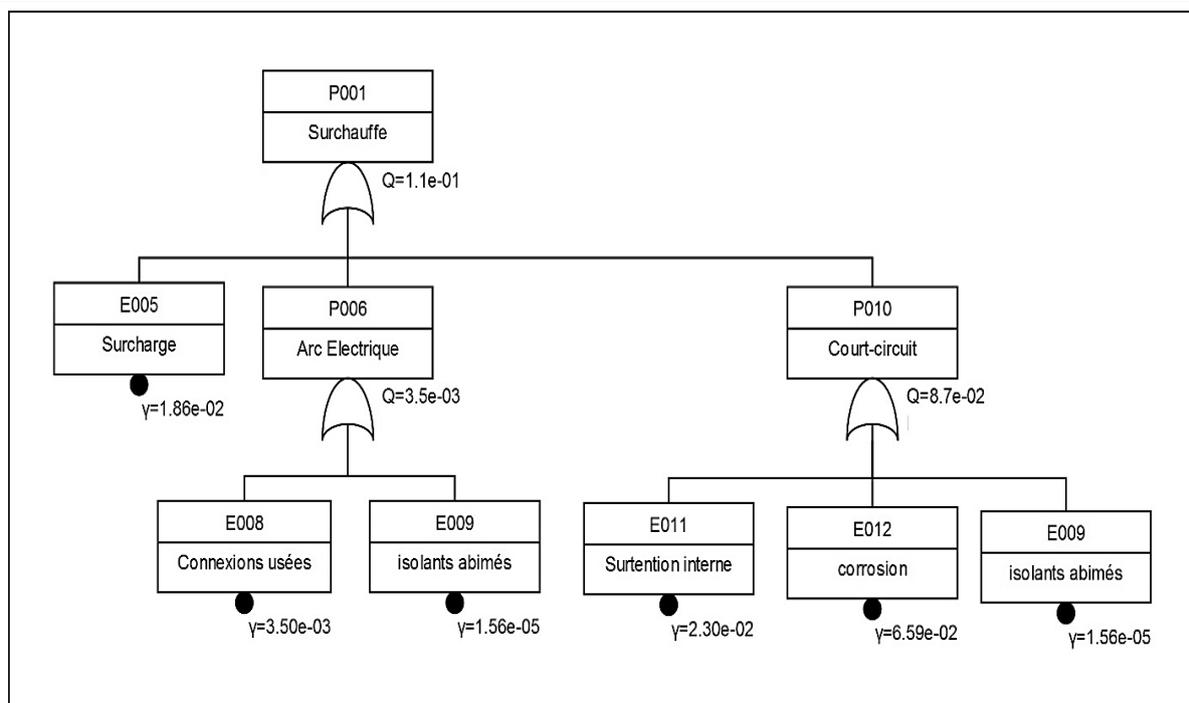


Figure 4-1 : Arbre de défaillances de la surchauffe des baignoires d'acides

➤ **Calcul de la probabilité de la surchauffe.**

Selon l'arbre élaboré, le calcul de la probabilité est effectué à partir des règles de l'algèbre de BOOLE en considérant que :

- À chaque événement de base correspond une variable booléenne.
- L'événement de sortie d'une porte « ET » est associé au produit des variables booléennes correspondant aux événements d'entrée.
- L'événement de sortie d'une porte « OU » est associé à la somme des variables booléennes correspondant aux événements d'entrée.

Les probabilités des éléments de base de l'AdD de la fuite au niveau du stockage sont données comme suit :

Tableau 4-1 : Probabilités des éléments de base de l'AdD de la surchauffe.

Equipements / Evènements	Codes	Probabilité
Connexions usées	E008	$3,50 \times 10^{-3}$
Isolants abimés	E009	$1,56 \times 10^{-5}$
Surtension Interne	E011	$2,30 \times 10^{-2}$
Corrosion	E012	$6,59 \times 10^{-2}$
Surcharge	E005	$1,86 \times 10^{-2}$

Soit $P_{\text{surchauffe}}$ la probabilité de la surchauffe.

$$P_{\text{surchauffe}} = (E008+E009) + (E011+E012+E09) + E005$$

La probabilité d'occurrence de la surchauffe est donc

$$P_{\text{surchauffe}} = 1,1 \times 10^{-1}.$$

La probabilité de la surchauffe retrouvée est très grande. Cependant des barrières de sécurité sont déjà mises en place pour la diminuer.

Le principal avantage de l'analyse par arbre des défaillances est qu'elle nous a permis d'estimer La probabilité d'occurrence de la surchauffe. Cette possibilité permet une bonne adéquation avec l'analyse d'accidents passés qui montre que les accidents observés résultent le plus souvent de la conjonction de plusieurs évènements qui seuls n'auraient pu entraîner de tels sinistres.

4.1.2. Défaillance électrique :

L'incendie est dû à une installation électrique défectueuse. 25% des incendies sont d'origine électrique (installation électrique défectueuse). 75% des départs de feu résultent de maladresse ou d'actes volontaires. Ce chapitre explique comment une défaillance électrique cause un incendie.

4.1.2.1. Causes incendies d'origine électrique :

On dénombre plusieurs causes des incendies d'origine électrique, parmi elles :

- Rallonges et multiprises trop nombreuses et surchargées.
- Court-circuit entraînant un arc électrique.
- Mauvaise isolation des fils électriques.
- Défaillance de mise à la terre.
- Manque de maintenance régulier.
- Cordons d'alimentation coincés, écrasés ou cachés sous un tapis par exemple.

➤ Défaillances d'un circuit électrique et la façon dont se manifeste l'incendie :

Les incendies d'origine électrique sont de moins en moins nombreux, cela est dû notamment à une meilleure maîtrise du risque et aussi à une meilleure prévention aux dangers

liés aux incendies d'origine électrique. Il est donc important de connaître comment les défaillances électriques provoquent l'incendie. Ces défaillances sont :

- **Arc électrique :**

Un arc électrique est une décharge électrique de courant à haute (ou basse) tension entre des pièces conductrices qui produit une très grande chaleur.

Les arcs électriques sont bien souvent causés par la dégradation des isolants et des connexions dans les installations vétustes et/ou non entretenues. Ces dégradations entraînent une surchauffe et une carbonisation des isolants dans lesquels apparaissent des arcs électriques puisque le carbone est un conducteur de courant, c'est la présence simultanée d'arcs électriques et de carbone qui initialise la flamme.

Les arcs électriques correspondent à la cause la plus fréquente des incendies selon les experts, il suffit d'un arc de 2.5 ampère pendant 1 seconde pour enflammer un câble ou une connexion.

- **Court-circuit :**

Le court-circuit est un phénomène électrique qui se produit notamment lorsque deux fils électriques sont mis en contact direct, le plus souvent suite à un défaut d'isolation. Il se traduit par une augmentation brusque l'intensité du courant qui peut aller jusqu'à provoquer un incendie. Lorsque le courant traverse un appareil, ce dernier lui oppose une résistance, un peu comme un barrage oppose une résistance au passage de l'eau d'une rivière. Le courant s'écoule donc en petit débit, on parle de faible intensité.

En cas de court-circuit, c'est comme si le barrage venait de rompre : le courant s'écoule alors librement, sans rencontrer de résistance, comme une rivière en furie. L'intensité est énorme et provoque un échauffement du fil, à tel point ou le matériau isolant peut fondre et prendre feu, qui peut provoquer un incendie.

- **Surcharge électrique :**

Un circuit électrique est initialement prévu pour supporter une charge électrique précise. Il y a surcharge électrique lorsque le circuit électrique est trop sollicité par trop d'appareils électriques en même temps. Pensons notamment aux rallonges électriques et aux blocs multiprises qui peuvent supporter quatre, six voire huit appareils à la fois. Cette surcharge électrique entraîne le réchauffement interne de circuit électrique et peut provoquer l'inflammation de matériaux combustibles et même faire fondre le plastique en contact.

- **Foudre et surchauffe électrique :**

La foudre peut, elle aussi, engendrer une surchauffe électrique en favorisant une augmentation très rapide de la charge électrique d'un appareil. L'appareil en question peut être brisé ou complètement détruit si la foudre est très intense et qu'aucun parasurtenseur n'est installé. L'appareil pourrait même prendre feu.

- **Courant de fuite**

C'est le courant qui s'échappe des conducteurs en allant dans la terre et en traversant les matériaux. Les experts ont prouvé qu'à partir de 300 milliampère de courant de fuite, certains matériaux prendront feu.

4.1.2.2. Étude de l'incendie d'origine électrique dans la salle de décapage :

Une défaillance électrique peut survenir à n'importe quel équipement électrique dans la salle de décapage chimique. Les équipements électriques de la salle de décapage sont :

- Système de chauffage des bains.
- Générateur ultrason.
- Armoire électrique.

Les causes de la défaillance électrique étant les mêmes pour tous les équipements cités ci-dessus, nous élaborons un seul arbre de défaillance. Pour avoir la probabilité de défaillance électrique dans la salle de décapage chimique, on calcule la probabilité de l'évènement sommet de l'arbre élaboré et on la multiplie par trois. La figure 4-2 présente l'AdD de la défaillance électrique.

Nous pouvons constater qu'il s'agit du même arbre de défaillance que celui de la surchauffe. Car cette dernière ne peut avoir lieu qu'en cas de défaillance électrique. Donc la probabilité d'une défaillance électrique est égale à la probabilité de la surchauffe.

Soit $P_{\text{Délectrique}}$ la probabilité de la défaillance électrique dans le décapage chimique.

$$P_{\text{Délectrique}} = 3 \times P_{\text{surchauffe}}$$

On obtient alors,

$$P_{\text{Délectrique}} = 3,3 \times 10^{-1}.$$

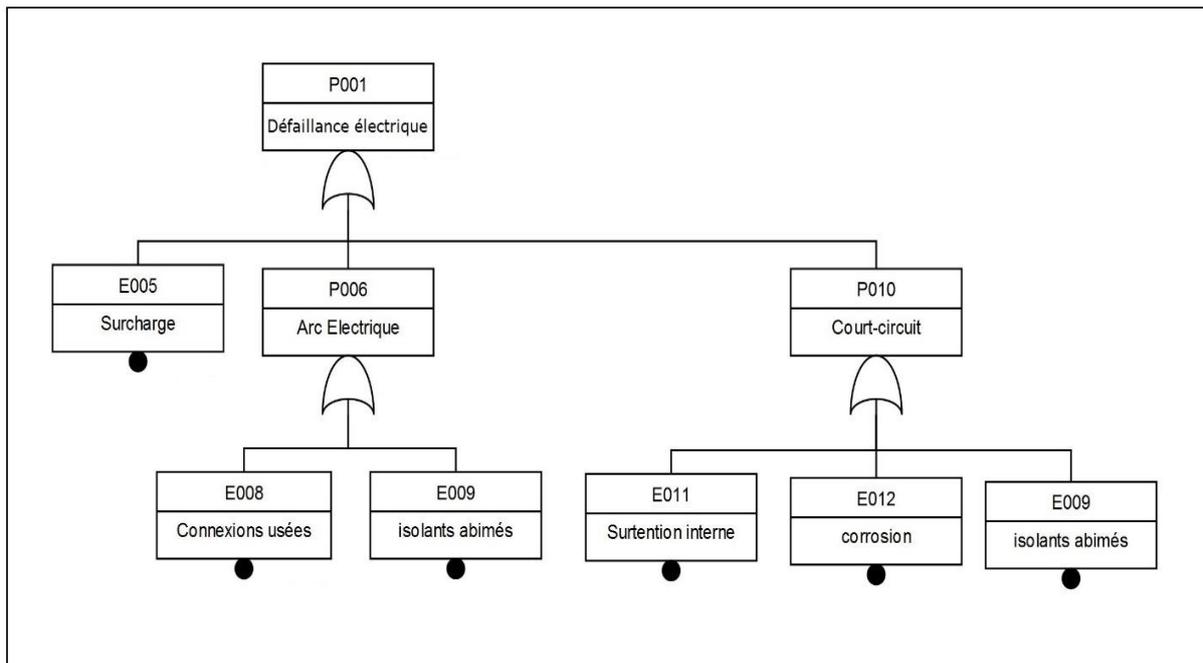


Figure 4-2 : Arbre de défaillances de la défaillance électrique.

4.2. POLYETHYLENE (PE)

Le polyéthylène est une matière thermoplastique du groupe polymère semi-cristallin, issu de la synthèse du pétrole. Il est constitué uniquement d'enchaînements de groupes CH₂.

Les trois principales familles du PE sont le HDPE (PE haute densité), le LDPE (PE basse densité) et le LLDPE (PE à basse densité linéaire). Elles présentent toutes pratiquement un comportement identique aux feux.

4.2.1. Etude de l'inflammabilité du PE

Selon la norme DIN 4102 l'inflammabilité du PE est de classe B2 (normalement inflammable). [10] Ceci est obtenu à l'aide d'un test appelé le test de gaine de feu.

➤ Test de gaine de feu :

Le test consiste à placer le PE sur un support d'échantillon qui est suspendu dans une chambre de test. Une flamme de brûleur y est appliquée pendant 15 secondes. Le délai pour atteindre un point marqué est mesuré. Les gouttes incandescentes sont aussi observées à l'aide d'un papier placé sous l'échantillon.

➤ **Conditions de classification B2**

Le délai pour atteindre le point marqué est d'au moins 20 secondes. Le papier ne s'enflamme pas. Les gouttes brûlent pendant 2 secondes au maximum. [10]

➤ **Comportement du PE pendant un incendie :**

Le déroulement d'un incendie comporte plusieurs étapes. Comme nous le montre la figure suivante, la première étape est le départ de l'incendie, les flammes sont alors localisées et la température reste relativement basse. Dans un second temps, on note un embrasement généralisé (flash over) dû à l'emballement des réactions de combustion et à la propagation du feu. Le flash over est généralement atteint pour des temps très courts (moins de 10 minutes) et engendre des températures de plus de 1000°C dans le lieu où se déroule l'incendie. Cette étape est donc l'étape critique au-delà de laquelle les personnes ne peuvent plus être sauvées. Les étapes suivantes sont la combustion des objets inflammables puis l'arrêt de l'incendie par manque de comburant. [5]

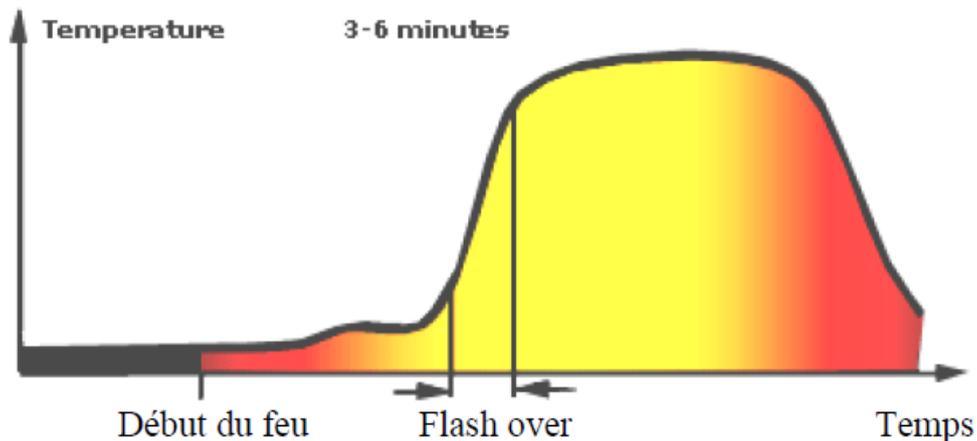


Figure 4-3 : Courbe de l'évolution de la température lors d'un incendie. [5]

Le comportement au feu d'un polymère peut se caractériser par différentes propriétés. On retient essentiellement la fusibilité, l'autoextinguibilité, l'inflammabilité et la capacité à propager l'incendie.

- La fusibilité est la capacité du polymère à goutter lors de son inflammation.
- L'autoextinguibilité est la capacité du polymère à s'éteindre après une inflammation.
- L'inflammabilité est le temps mis par le polymère pour s'enflammer dans des conditions fixées (atmosphère, source de chaleur).

A ces différents critères viennent s'ajouter l'opacité et la toxicité des fumées qui peuvent jouer un rôle prépondérant dans la survie des victimes.

Le PE est un polymère qui goutte lors de son inflammation mais qui ne s'auto-éteint pas. Ne s'enflamme pas rapidement. Il dégage une faible fumée blanche contenant CO, CO₂, H₂O et un peu d'hydrocarbures lors de son inflammation. [11]

➤ **Conditions pour son inflammation :**

La température d'auto-inflammation du PE varie selon sa densité entre 330°C et 410°C. Son point d'éclair avoisine les 341 °C. [12]

Conclusion

Les défaillances étant des évènements liés aux équipements techniques, leur probabilité est soit déjà connue ou peut être calculée en se servant du retour d'expérience ou d'autres bases de données relatives aux mêmes évènements. La probabilité d'occurrence d'une défaillance électrique est très élevée car sa survenue peut être engendrée par plusieurs évènements très fréquents.

Bien que le PE soit inflammable, son point d'éclair ne lui permet pas d'être une cause d'incendie à prendre en considération dans la station de décapage chimique. En effet, son point d'éclair étant de 341 °C, il serait très difficile de l'atteindre à moins que l'incendie redouté soit déjà dans les lieux. Cependant, le PE reste tout de même un combustible et alimente les flammes, de plus, son autoextinguibilité est très faible. Par conséquent, en cas d'incendie, il pourrait fortement aggraver les conséquences.

D'après les deux points de cette conclusion, nous pouvons considérer la défaillance électrique comme la principale cause d'un incendie dans la station de décapage chimique, ceci sans négliger le fait que le PE peut agir comme combustible en cas d'incendie.

Chapitre 5 :

Réduction des risques

5. REDUCTION DES RISQUES

Un incendie au niveau du décapage chimique ne doit pas nécessairement avoir un déroulement tragique et entraîner la destruction complète ou partielle de l'installation comme c'était le cas des incendies retrouvés dans le retour d'expérience.

Les incendies peuvent être évités si les mesures de prévention adéquates ont été prises et que le personnel réagit vite et efficacement lors de l'accident. Par conséquent, les moyens de première intervention doivent être prévus et adaptés au risque d'incendie, judicieusement disposés et bien entretenus.

5.1. PREVENTION PASSIVE

Elle est basée sur la mise en œuvre de matériaux présentant une réaction au feu qui retarde le développement d'un incendie qui a pris naissance. Les mesures qui améliorent la résistance au feu des éléments de construction offrent, par leurs caractères plus permanents, plus de sécurité pour la prévention contre l'incendie, ce qui leur donne une grande importance.

La réaction au feu permet de ralentir la naissance d'un incendie et sa vitesse de propagation. La naissance et l'extension d'un incendie à l'intérieur d'un local peuvent être retardées en utilisant des matériaux qui contribuent peu ou pas au développement d'un incendie. Idéalement, les matériaux devraient être non combustibles. Si ces matériaux sont néanmoins combustibles, il faut les choisir judicieusement pour que leur inflammabilité soit faible et que leur combustion produise peu de chaleur, les flammes ne se propagent pas ou difficilement à la surface, la quantité de fumée dégagée soit limitée, surtout si les fumées sont opaques et/ou toxiques.

Le PE est combustible mais ses propriétés résistantes aux acides sont indispensables. La majorité des matériaux possédant les mêmes propriétés sont d'origine organique et donc combustibles et ininflammable. Ce n'est pas le cas pour tous les matériaux. Ceci nous mène à remplacer les équipements en PE par les équipements en PVC (PolyChlorure de Vinyle) car ce dernier est ininflammable.

5.2.PREVENTION ACTIVE

La prévention dite active concerne la détection, l'alerte, l'extinction, l'évacuation des fumées et tout ce qui concerne l'équipement du bâtiment. Pour éviter les dommages résultant d'un incendie, des moyens de prévention et d'intervention doivent être mobilisés. [13]

5.2.1. Détection :

La détection et les moyens d'alerte permettent de signaler le début d'un incendie. Ceci est très utile car il réduit les délais d'évacuation et d'intervention. Plusieurs détecteurs d'incendie existent, on retrouve :

- Détecteurs de fumée.
- Détecteurs de chaleur.
- Détecteurs de flamme.

Les détecteurs de fumées optiques pourraient s'avérer utiles si le PE agit comme combustible car ce dernier génère des fumées noires lors de son inflammation. [13]

5.2.2. Moyens d'extinction à utiliser :

Les moyens d'extinction doivent permettre d'éteindre un début d'incendie. Les procédés d'extinction sont le refroidissement, l'étouffement, l'inhibition et le transfert. Chacun d'eau est approprié à une ou plus classes de feu. Le tableau suivant définit pour chaque procédé d'extinction le moyen d'extinction qui lui est attribué.

Tableau 5-1 : Moyens d'extinction pour chaque procédé.

Procédé	Refroidissement	Etouffement	Inhibition	Transfert
Moyen	Eau	CO ₂	Poudre	Mousse

Il arrive que certains moyens d'extinction agissent en combinant deux procédés ou plus. L'eau par exemple, peut agir par procédé d'étouffement lors de la pulvérisation, tout en gardant ses propriétés de refroidissement. On retrouve tous ces moyens d'extinction dans les extincteurs portatifs.

Dans notre cas, la défaillance électrique étant la cause principale du déclenchement du feu, il est inapproprié d'utiliser des extincteurs à eau ou à mousse, car ces derniers endommagent les équipements électriques. Les extincteurs à poudre ne sont pas adaptés à ce genre d'incendie non plus, car la poudre abrasive mélangée à l'eau, a pour inconvénient de

s'introduire dans les moindres aspérités et peut provoquer une corrosion notamment pour les installations électriques.

Le plus judicieux est donc de placer des extincteurs CO₂.

En baissant drastiquement le taux d'oxygène dans l'air, le gaz contenu dans l'extincteur à gaz étouffe le feu. Conservé sous pression à l'état liquide, et donc à basse température, il agit également par refroidissement (de manière toutefois relative par rapport à l'eau et la mousse).

Le gaz sortant étant relativement froid (environ -75/-80°C), il existe des risques de gelures liées à l'utilisation de cette catégorie d'extincteur. C'est pourquoi le diffuseur est réalisé en caoutchouc pour rendre possible sa prise en main.

Le dioxyde de carbone étant plus léger que l'air au-delà de 179°C, cela explique la nécessité de bien couvrir toute la surface occupée par les flammes, afin que le gaz puisse agir. Toutefois il ne laisse aucun résidu à l'inverse de la poudre. [4]

5.2.3. Contrôle des extincteurs CO₂ :

Un incendie ne peut être combattu que grâce uniquement à des extincteurs en parfait état. Un extincteur qui ne fait pas l'objet d'un entretien régulier ne peut pas fonctionner convenablement. Pour savoir si un extincteur est en état de fonctionner, il est nécessaire d'effectuer régulièrement un contrôle d'extincteurs. En principe, un extincteur doit être contrôlé chaque année.

Les extincteurs CO₂ doivent être révisés après 10 ans, s'ils n'ont pas encore été utilisés et dans le cas contraire, après 5ans. Il existe des règlements qui définissent combien de temps durera un extincteur. La norme NF S 61919 précise qu'un extincteur ne devrait pas dépasser 20 ans en cas de présence de choc, de rouille, etc... D'autre part, les règles APSAD (règle R4) précisent que les extincteurs doivent bénéficier d'une visite approfondie après 10ans. En général, ces derniers sont souvent remplacés par les fabricants au-delà de cette période. [14]

5.2.4. Désenfumage :

Lors d'un incendie, les fumées toxiques représentent le plus grand danger pour la survie et l'évacuation du personnel ; la hotte déjà présente dans la salle de décapage chimique va fortement aider l'évacuation de ces fumées vers l'extérieur.

5.2.5. Apport d'équipements de prévention électriques :

Le meilleur moyen de remédier aux incendies d'origine électrique est d'avoir une installation électrique saine et régulièrement entretenue. Les dispositifs permettant notamment d'arrêter le passage du courant comme les disjoncteurs sont essentiels pour éviter des incidents. Des dispositifs appelés « détecteur d'arc » permettent quant à eux de prévenir le risque d'arc électrique en coupant automatiquement le courant. Enfin, il à noter qu'il faut former chaque membre de l'entreprise pour qu'il sache comment réagir en cas d'incendie d'origine électrique.

Conclusion

L'incendie redouté dans la station de décapage chimique pourrait être évité ou du moins maîtrisé grâce à des moyens de prévention et d'intervention appropriés. On retient qu'il faut mettre en place des extincteurs CO₂ car ce sont les plus appropriés pour les feux d'origine électrique.

Il ne faut pas non plus négliger les équipements électriques tels que les disjoncteurs et les détecteurs d'arc qui permettent de prévenir les causes de défaillances électriques provoquant l'incendie. Pour cela leur maintenance est indispensable et doit se faire souvent et périodiquement. [13]

Les moyens de prévention active concernent les équipements de la station de décapage chimique. De ce fait, ils demandent un entretien régulier et présentent un certain risque de défaillance au moment critique.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Ce travail a abordé le risque d'incendie dans la station de décapage chimique D'ALGESCO. Les incendies sont des phénomènes dévastateurs pouvant avoir plusieurs causes. Plusieurs incendies ayant lieu dans des stations de décapage chimique ont été mis à profit pour rechercher leurs causes. Les principales causes sont les défaillances électriques et la défaillance du système de chauffage des solutions.

Une autre investigation sur l'origine des incendies est indispensable, celle-ci consiste à retrouver toutes les matières inflammables dans la salle de décapage chimique. En premier lieu, les produits chimiques utilisés dans le process de décapage chimique, leurs dérivés ainsi que les produits de leurs réactions étaient recensés pour étudier leur inflammabilité. Aucun d'eux n'est inflammable. Ensuite, l'étude s'est intéressée aux matériaux des équipements se trouvant dans la salle de décapage chimique. Le polyéthylène est le principal matériau constituant ces équipements et est inflammable.

Une étude des éventuelles causes d'incendie a été faite. D'après l'arbre de défaillance, la probabilité d'occurrence d'une défaillance électrique est la même que celle de la défaillance du système de chauffage et est très élevée car sa survenue peut être engendrée par plusieurs événements très fréquents. Le PE est considéré comme difficilement inflammable mais peut agir comme combustible en cas d'incendie. Au final, la cause principale cause d'incendie est la défaillance électrique.

Le but de l'analyse de risque est de limiter les dégâts causés par l'incendie, mais surtout de proscrire l'accident majeur. Un incendie augmentera la température dans la salle, l'évaporation des produits entraînera la création d'un nuage toxique. L'intervention sera de ce fait très difficile, les produits sont corrosifs et toxiques. Les intervenant doivent être formés et avertis des propriétés dangereuses de chaque produit et du moyen pour les éviter. L'incendie étant d'origine électrique, le meilleur moyen de protection est l'extincteur CO₂ car les autres types d'extincteurs pourraient endommager les équipements. Bien entendu, la maintenance de tout équipement électrique ne doit pas être négligée.

A la fin de cette étude, les causes du risque d'incendie sont identifiées et ont permis de proposer les moyens de sécurité les plus adéquats.

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] R. Redjem, F.Tchekiken, évaluation des risque dans la station de décapage chimique d'Algesco, Mémoire de fin d'étude, ENP, juin 2017.
- [2] G. Damien, «GE report : ALGESCO,» GE, 2016.
- [3] R. Saino, Spécification techniques, Installation de décapage chimique, Groupe Buffoli Impianti srl, 2006.
- [4] «Liquides inflammables,» INERIS, 2009.
- [5] B. Swoboda, Amélioration du comportement au feu de polyéthylène téréphtalate et d'alliages polyéthylène téréphtalate/ Polycarbonate recyclés, Université de Montpellier, 2007.
- [6] A. Mickael, «Service de sécurité et d'assistance à personnes, Niveau agent de sécurité incendie,» SSIAP, 2010.
- [7] «. Base de données ARIA, bureau d'analyse des risques et pollutions industrielles www.aria.developpement-durable.gouv.fr,» BARPI, 2014.
- [8] M. Wéry, traitement de surface des métaux controle et préparation, décapage chimique, Techniques d'ingenieur, 2001.
- [9] Debray.B, Chaumette.S, Descouriere.S, Trometter.V, Ω7 : Méthode d'analyse des risques générés par une installation industrielle, INRIS, 2006.
- [10] «Norme allemande,» DIN 4102.
- [11] D.Roig, «Polyéthylène,» Société chimique de france, 2016.
- [12] «Fiche technique de sécurité, article 31,» SIMONA, 2006.
- [13] A. Rosenoer, Guide sécurité incendie, Société Wallonne du logement.
- [14] Norme française 61919.