



**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET
FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE**

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Parcours : Master Académique

Domaine : Sciences & Technologie

Filière : Electromécanique

Spécialité: Maintenance Industrielle

THÈME

**MODELISATION DE FEUX D'INCENDIE DANS UN
CONTEXTES DE RISQUE INDUSTRIEL**

Préparé par : LABECHE ABDELKADER & HADDAR MOULEY EL HADI ZAKARIA

Devant le jury :

Nom & prénom (s)	Grade	Qualité	Structure de rattachement
	MCA	PRÉSIDENT	UNIVERSITÉ DE TIARET
	MCB	EXAMINATEUR	UNIVERSITÉ DE TIARET
GUEMMOUR Med.B	MCB	ENCADREUR	UNIVERSITÉ DE TIARET

PROMOTION : 2018/2019

Remerciements

Nous remercions DIEU le tout puissant de nous avoir donné la force et la patience pour accomplir notre travail dans les meilleures conditions.

*Comme, il nous est agréable d'exprimer notre gratitude et reconnaissance envers notre encadreur **Mr. GUEMMOUR M.B** qui nous à été d'une grande utilité par ses compétences et ses orientations pour la réalisation de notre projet.*

*Sans oublié de remercier, l'ensemble des Enseignants du Département Génie-mécanique de l'Université de Tiaret
Enfin, nos pensées à tous ceux qui nous ont aidé pour la réalisation de ce modeste travail.*

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A mon père, mon premier encadreur depuis ma naissance.

A ma mère, qu'elle trouve ici l'hommage de ma gratitude si grande qu'elle puisse être, ne sera à la hauteur de ses sacrifices et ses prières pour moi.

A mes frères Hassan, Cherif et Sid Ahmed ainsi que mes sœurs Kheira, et Hafida.

A ma femme pour son grand soutien tout au long de mon parcours.

A mon binôme Abdelkader avec qui j'ai partagé les difficultés et les joies durant ces dernières années

A mes amis et tous ceux dont le soutien était irréprochable.

A tous mes collègues de la promotion MI 2018/2019

A toutes personnes que j'aime et qui m'aime

Sommaire

Remerciments	II
Dédicaces	III
Sommaire.....	IV
Liste des tableaux.....	VIII
Liste des Figures	IX

Chapitre N°01 généralités sur les risques industriels

1.1 INTRODUCTION.....	5
1.2 NOTION DE RISQUE.....	6
1.2.1 Définitions	6
1.2.2 Domaine d'application.....	7
1.2.2.1 Utilisation d'une machine	7
1.2.2.2 Catastrophe naturelle, Accident industriel.....	7
1.2.2.3 Gestion d'entreprise et finance.....	8
1.2.3 RISQUES MAJEURS	8
1.2.3.1 Définition.....	8
1.2.3.2 Classification.....	9
1.2.4 Risque industriel.....	10
1.2.5. Qu'est ce qu'un accident majeur ?	11
1.2.5.1 Accidents technologiques majeurs.....	11
1.2.5.2 Classification des risques :	11
a- Classification selon la gravité et la fréquence :	11
1.2.6. D'autre définition de risque industriel	13
1.2.7. Les générateurs de risques regroupés en deux familles	13
1.2.8. Les effets de risque industriels.....	13
a) Les effets thermiques.....	13
1.2.9. Les enjeux	14
1.2.10 Les conséquences sur les personnes et les biens	15
b) Les conséquences économiques	15
c) Les conséquences environnementales	15
1.3. La gestion des risques	15
1.3.1. La prévention des risques industriels.....	16
a) La connaissance des phénomènes, de l'aléa et du risque	16
b) La surveillance.....	16
L'atténuation du risque.....	16
La prise en compte des risques dans l'aménagement :	16
c) Le retour d'expérience.....	17
1.3.3. Politique internationale :	18
1.3.4. La nécessité d'étudier les risques en milieu urbain	18

1) L'augmentation du nombre de catastrophe et d'accident.....	18
L'absence de culture de mémoire des risques :	18
1.4 Hygiène et Sécurité industriel.....	19
1.4.1 Introduction.....	19
1.4.2 Définition :	19
<i>Conclusion</i> :	21

Chapitre N°02 généralités sur l'incendie industriel

2.1 INTRODUCTION.....	23
2.2 INCENDIE INDUSTRIEL[2.1]	25
2.2.1 Définition.....	25
2.2.2 Combustion	25
2.2.2.4 Inflammation du mélange gazeux	27
2.2.2.5 Mécanisme de combustion.....	29
2.4 THERMIQUE D'UN INCENDIE	31
2.4.1 Energie libérée.....	31
2.4.2. Modes de transport de l'énergie libérée.....	32

Chapitre N°03 Etude de cas : incendie d'un centre d'enfutage

3.1. SITUATION DU PROBLEME	35
3.1.1. Conception d'un centre d'enfutage	35
3.1.2. Origines des incendies dans un centre d'enfûtage.....	36
3.2. MODELISATION DE L'INCENDIE.....	37
3.2.1 Modèle de la flamme solide.....	38
3.2.2 Méthode de calculs des effets thermiques d'un incendie.....	40
3.2.2.1 Paramètres de calcul	41
3.2.2.2 Taux de combustion surfacique de la flamme	43
3.2.2.3 Transmissivité atmosphérique τ	43
3.2.2.4 Géométrie de la flamme.....	43
3.2.2.5 Emissivité E	46
3.2.2.6 Facteur de forme F	46
3.2.2.7 Calcul du flux thermique d'un feu en nappe	47
3.2.3. Résultats.....	48
3.2.3 Effets de l'incendie sur les cibles	53
<i>CONCLUSION</i>	56
<i>Bibliographie</i>	66

Liste des tableaux

Tab 1.1: <i>Classification des événements</i>	17
Tab 1.2: <i>Familles de risques majeurs</i>	18
Tab 1.3: <i>Différentes familles de risques industriels</i>	20
Tab 3.1: <i>Seuil réglementaire sur les personnes (Source INERIS)</i>	48
Tab 3.2: <i>Seuil réglementaire sur les biens matériels (Source INERIS)</i>	48
Tab 3.3: <i>Paramètres géométriques d'un feu en nappe avec flamme mono-zone</i>	51
Tab 3.3: <i>Données initiales</i>	52
Tab 3.4: <i>Résultats selon la feuille de calcul de l'INERIS</i>	60

Liste des Figures

Figure 1 1 Courbe de Farmer (1967	- 12 -
Figure 1 2 Action de prévention et de protection	- 15 -
Figure 1 3 Les enjeux d'une entreprise	- 19 -
Figure 1 4 Cycle d'amélioration continue (roue de Deming.....	- 20 -
Figure 2 1 Exemples d'incendie sur sites industriels.....	- 25 -
Figure 2 2 Différents processus d'émission de vapeurs pour le combustible solide [2]	- 27 -
Figure 2 3 Domaine d'inflammabilité (représentation schématique)(Zabetakis, 1965).	- 28 -
Figure 2 4 Schéma du mécanisme de combustion auto-entretenue [2.2].....	- 30 -
Figure 2 5 Représentation schématique de la flamme [2.1].....	- 31 -
Figure 2 6 Schémas de la combustion d'un incendie.....	- 32 -
Figure 2 7 Phénomènes thermiques observés dans un feu	- 32 -
Figure 3 1 Plan de masse du centre enfûtage de NAFTAL (Tiaret)	- 35 -
Figure 3 2 Configuration et paramétrage d'un feu de nappe avec flamme mono-zone (Source INERIS	- 39 -
Figure 3 3 Paramétrage du facteur de forme pour cylindre droit et cible horizontale	- 42 -
Figure 3 4 Paramétrage du facteur de forme pour cylindre droit et cible horizontale	- 43 -
Figure 3 5 : Evolution de flux thermique en fonction de la distance produit BUTANE	- 43 -

1. Symboles latins

Symbole	Désignation	Unité
a	Longueur de la nappe	m
b	Largeur de nappe	m
T_{eb}	Température d'ébullition	$^{\circ}K$
Φ	Flux de thermique	(KW)
E	Emissivité	(kW/m^2)
$F(d)$	<i>Facteur de forme</i>	-
$\tau(d)$	<i>transmissivité</i>	-
H_f	<i>Hauteur de flamme</i>	m
D_{eq}	<i>Diamètre équivalent de cylindre</i>	m
L_f	Longueur de la flamme en	m
d	<i>Diamètre du dégagement</i>	mm
θ_f	Angle d'inclinaison de la flamme par rapport à la verticale	Radian
Fr	Nombre de FROUDE	-
d	<i>la distance entre la cible et la flamme</i>	m
\dot{m}	Taux de combustion surfacique	kg/m^2s
g	Accélération de la pesanteur, prise égale à	$9.81 m/s^2$
ρ_{air}	Masse volumique de l'air	$1.61 kg/m^3$
S	Surface brute (surface avec bac pour une cuvette) de la nappe en feu	m^2
P	Périmètre de la nappe en feu	m
L	Longueur de la surface en feu	m
l	largeur de la surface en feu	m
HR	humidité relative de l'air	$\%$
T_a	Température ambiante	$^{\circ}K$
p_w	Pression partielle en de la vapeur d'eau contenue dans l'air à une humidité relative donnée.	N/m^2
ΔH_C	Enthalpie de combustion	kJ/kg
ΔH_V	Enthalpie de vaporisation	kJ/kg
c_p	Chaleur spécifique du liquide à T_{amb}	$kJ/kg.K$
T_{eb}	Température d'ébullition	$^{\circ}K$
T_{amb}	Température ambiante	$^{\circ}K$
σ	constante de SPTÉPHAN-BOLTZMANN	$5.67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$
ε	:coefficient d'émission de la surface ($\varepsilon = 1$ pour un corps noir , $\varepsilon \ll 1$ corps brillant)	-

Introduction GÉNÉRALE

Introduction générale

La science des catastrophes est considérée comme une science de la modernité, y compris le sujet des catastrophes industrielles, et cette dernière nécessite l'étude des risques industriels en termes de prévision, puis la préparation de préparations et de moyens pour ensuite les affronter, et cette étude vise à prendre soin de ce savoir vital renouvelé, principes d'organisation sécurité industrielle, puis déterminer ce que les risques industriels, et s'il y a un plan d'opérations d'urgence industrielle, puis la question des blessures au travail et à la sécurité d'entre eux.

Avant cela, il est nécessaire d'identifier les défis les plus importants auxquels est confrontée la gestion des risques industriels, puis de voir ces défis et d'identifier les moyens de les résoudre de manière scientifique et moderne afin de les résoudre et de les surmonter. Défis clés est difficile à définir, car il existe plusieurs définitions des risques industriels, et une définition uniforme n'a pas encore été approuvée, bien que de nombreux éléments représentent ces risques.

Il est difficile d'établir des règles générales applicables à tous les types de risques industriels, en raison de la différence entre ces risques

Comme il en a conclu, plusieurs tendances de la gestion des risques industriels sont apparues et cette différence peut être due à la particularité locale de la nature des risques.

Non-pratique: la plupart des études sont théoriques mais la plupart d'entre elles n'ont pas été testées sur le terrain. Nous avons donc besoin d'applications sur le terrain de ces théories relatives à la gestion des risques industriels et au développement de la sécurité industrielle.

Surprise et contraintes de temps: de nombreuses catastrophes industrielles se produisent soudainement, sans aucune introduction, elles ne sont pas attendues et cette surprise ne laisse pas beaucoup de temps pour y faire face. Dans de telles circonstances, l'art des informations utiles peut ne pas être disponible ou disponible, et cela peut être le cas. Une catastrophe soudaine du même, de sorte que le décideur pour faire face à cette catastrophe industrielle pourrait se retrouver devant deux défis, les premières contraintes de temps et la deuxième rareté des informations disponibles.

Il existe un défi fondamental, qui est un défi politique et administratif face aux risques industriels, qui découle de la nature du phénomène de crise et de l'imprévisibilité de l'événement et de sa préparation. Du risque industriel est considéré aux yeux de Les décideurs politiques sont

un phénomène hypothétique dont l'heure et le lieu ne peuvent être connus en raison de la difficulté de prédire

En outre, les décideurs politiques peuvent également être confrontés à des problèmes plus urgents au sein de la communauté, dans les limites de leurs priorités. Ces risques industriels constituent une hypothèse optimiste, fondée sur la conviction que cela ne se produira pas de manière improbable et imminente, mais que l'attention accrue a été prise après la catastrophe.

Le défi administratif réside dans la nature de la structure de gestion institutionnelle, avec la multiplicité et le chevauchement des rôles imposé par la spécificité de la gestion des catastrophes industrielles. La structure institutionnelle traditionnelle est basée sur une structure fonctionnelle qui repose sur des départements spécifiques et est conçue pour exploiter, De nombreux scientifiques en gestion soulignent que ce modèle ne convient pas à la gestion des catastrophes industrielles, qui nécessite de gérer des activités multiples et qui se chevauchent et leurs spécialités, de sorte qu'il peut être nécessaire de mettre en place un modèle de réglementation différent des caractéristiques administratives traditionnelles, qui repose sur la stabilité de l'environnement et le degré de stabilité de l'organisation. Défini en fonction d'attentes garanties et confirmées.

L'un des défis de la gestion des risques industriels est l'utilisation de technologies modernes appropriées dans les opérations d'adaptation, et le besoin de techniques avancées de préparation et de confrontation devient de plus en plus urgent.

Premièrement: la sécurité industrielle

La sécurité industrielle concerne l'entretien de l'homme travaillant dans l'installation et l'équipement de l'établissement, qui joue un rôle clé dans l'augmentation de la production et l'efficacité des employés, en fournissant des bases de sécurité pour les travailleurs et l'équipement. Pour des raisons de sécurité, les accidents du travail, dont la plupart sont imputables à des erreurs dans la conduite du personnel ou d'une erreur d'utilisation ou d'utilisation du matériel, sont évités.

Tant que cela est le cas et que les raisons se limitent presque à l'erreur du travailleur, de la machine ou de l'utilisation, il est possible d'éviter ou de réduire les pertes en fournissant les raisons de la sécurité industrielle.

Chapitre 01

GÉNÉRALITÉS

SUR

LES RISQUES INDUSTRIELS

1.1 INTRODUCTION

Le risque est la possibilité de survenue d'un événement indésirable, la probabilité d'occurrence d'un péril probable ou d'un aléa .

Le risque est une notion complexe, de définitions multiples car d'usage multidisciplinaire. Néanmoins, il est un concept très usité depuis le XVII^e siècle, par exemple sous la forme de l'expression « courir le risque de »¹, notamment pour qualifier, dans le sens commun, un événement, un inconvénient qu'il est raisonnable de prévenir ou de redouter l'éventualité. La notion de risque est également liée à la gravité des conséquences de l'aléa dont la survenue est probable. Prédire ou prévoir les conséquences des aléas fait partie de l'analyse et la gestion des risques.

Ainsi, il est défini, en statistiques descriptives comme la probabilité d'exposition à un danger, à un événement (maladie, décès, accident) pendant un intervalle de temps défini. En gestion des risques, il est l'association de quatre facteurs : un danger, une probabilité d'occurrence, sa gravité et de son acceptabilité.

Le risque possède également d'autres définitions quand il a trait à des situations commerciales ou techniques.

Différent selon de nombreux cas, suivant différents paramètres, et suivant l'exposition à certaines situations ou causes, on définit un facteur de risque comme un facteur d'augmentation de la probabilité d'être exposé à un aléa et on quantifie l'augmentation du risque, notamment par l'utilisation de « l'excès de risque ». Par exemple, l'exposition au tabac est un facteur de risque pour le cancer du poumon.

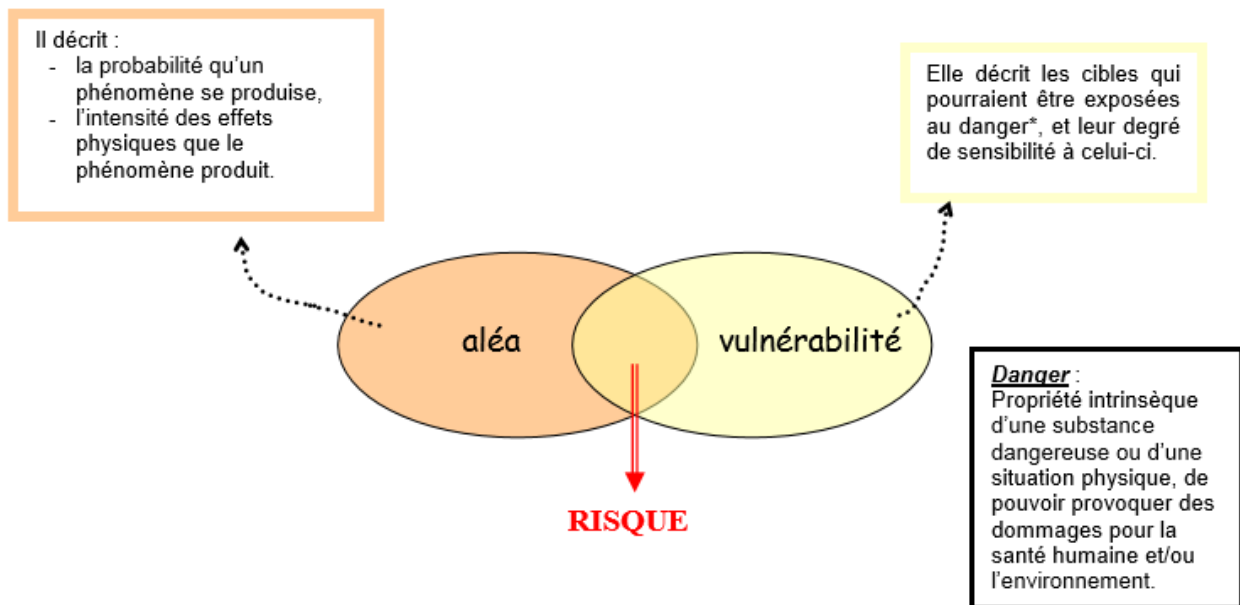
Les sociétés humaines évaluent et préviennent les risques et les institutions comportent l'analyse et la gestion des risques comme composante majeure ; ainsi, il existe de nombreuses organisations, de nombreuses institutions et des lois qui ont trait à l'analyse des situations et des risques.

1.2 NOTION DE RISQUE

1.2.1 Définitions

1°.le risque

Est la combinaison de l'aléa et des enjeux (un explosif dans le désert n'est pas un risque alors que placé dans une zone urbanisée il en devient un). Le risque n'existe que lorsqu'un aléa entre en relation avec la vulnérabilité d'une cible.



2°.Risque majeur

Le risque caractérisé par une faible occurrence et une gravité importante, engendrant un nombre élevé de victimes et de nombreux dommages matériels et environnementaux.

D'une manière générale, le risque majeur peut entraîner des dégâts matériels, des impacts sur l'environnement induisant une charge financière importante et/ou de nombreuses victimes.

$$\textit{Aléa violent} + \textit{Enjeux importants} = \textit{Risque Majeur}$$

3°. Accident majeur

un événement tel qu'une émission, un incendie ou une explosion d'importance majeure résultant de développements incontrôlés survenus au cours de l'exploitation, entraînant des conséquences graves, immédiates ou différées.

4°. L'aléa

correspond à la probabilité de manifestation d'un phénomène accidentel se produisant sur un site industriel.

5°. L'enjeu

est l'ensemble des personnes et des biens susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel ou technologique.

6°.Vulnérabilité

exprime et mesure le niveau de conséquences prévisibles de l'aléa sur les enjeux. Différentes actions peuvent réduire cette vulnérabilité en atténuant l'intensité de certains aléas ou en limitant les dommages sur les enjeux.

1.2.2 Domaine d'application

1.2.2.1 Utilisation d'une machine

- **Aléa** : Défaillance, une panne, erreur de manipulation,
- **Enjeu (gain / perte)** :
 - le gain espéré est la fonction de service de la machine (fabriquer un objet, remplir un flacon, se déplacer, ...);
 - la perte peut être une perte de temps (et donc de productivité), une consommation inutile d'énergie et de consommables, destruction d'un bien, un dommage corporel, une pollution de l'environnement ,etc...

1.2.2.2 Catastrophe naturelle, Accident industriel

Une catastrophe est un événement brutal, d'origine naturelle ou humaine, ayant généralement des dégâts de grande ampleur, entraînant avec elle des situations tragiques pour les populations entières, ce terme est souvent utilisé pour les risques naturels majeurs.

- **Aléa** : événement climatique (inondation, tempête), un séisme, ... ou bien un accident industriel dans une unité de production ou de stockage,
- **Enjeu (gain /perte)** :
 - Construction dans une zone géographique vulnérable à des catastrophes naturelles ou à des accidents industriels en raison de l'augmentation de la population locale suite à une croissance démographique ou une migration, en espérant un développement urbain avec perception des impôts.
 - la perte peut être des dommages corporels, des destructions matérielles, une atteinte à l'environnement ;

1.2.2.3 Gestion d'entreprise et finance

- **Aléa** : on ne peut pas prédire totalement comment va évoluer le marché, quelles seront les innovations techniques, comment vont évoluer les besoins des clients,

- **Enjeu (gain /perte) :**

- le gain espéré est un retour sur investissement, un maintien ou une progression de l'activité (prendre des parts de marché) ;

- la perte peut être une absence de retour sur investissement, une baisse d'activité (éventuellement un plan social).

Pour fixer les idées, une échelle de gravité des dommages a été produite par le ministère de l'Écologie et du Développement durable.

Le **tableau 1.1** permet de classer les événements en six classes, depuis l'incident jusqu'à la catastrophe majeure.

Tab 1.1 : Classification des événements

Classe	Événement	Dommages humains	Dommages matériels
0	Incident	Aucun blessé	Moins de 0,3 M€
1	Accident	1 ou plusieurs blessés	Entre 0,3 M€ et 3 M€
2	Accident grave	1 à 9 morts	Entre 3 M€ et 30 M€
3	Accident très grave	10 à 99 morts	Entre 30 M€ et 300 M€
4	Catastrophe	100 à 999 morts	Entre 300 M€ et 3 000 M€
5	Catastrophe majeure	1 000 morts ou plus	3 000 M€ ou plus

1.2.3 RISQUES MAJEURS

1.2.3.1 Définition

Le risque majeur c'est la possibilité de survenance d'un événement d'origine naturelle ou anthropique, dont les effets peuvent :

- mettre en jeu un grand nombre de personnes,
- occasionner des dommages importants
- dépasser les capacités de réaction de la société.

Un événement potentiellement dangereux (ALÉA) n'est un RISQUE MAJEUR que s'il s'applique à une zone où des ENJEUX humains, économiques ou environnementaux sont en présence.

D'une manière générale le risque majeur se caractérise par:

- a. de nombreuses victimes,
- b. un coût important de dégâts matériels,
- c. des impacts sur l'environnement : la VULNÉRABILITÉ mesure ces conséquences.

Exemple:

Un aléa sismique en plein désert n'est pas un risque majeur, mais un aléa séismique à BOUMERDES est un risque majeur.

L'existence d'un risque majeur est liée :

a-d'une part à la présence d'un événement, qui est la manifestation d'un phénomène naturel ou anthropique ;

b-d'autre part à l'existence d'enjeux, qui représentent l'ensemble des personnes et des biens (ayant une valeur monétaire ou non monétaire) pouvant être affectés par un phénomène. Les conséquences d'un risque majeur sur les enjeux se mesurent en termes de vulnérabilité.

Un risque majeur est caractérisé par sa faible fréquence et par son énorme gravité.

1.2.3.2 Classification

Les différents types de risques majeurs auxquels chacun de nous peut être exposé sont regroupés en 2 grandes catégories et 5 grandes familles :

Tab 1.2 : Familles de risques majeurs

Risque majeur	
1. les risques naturels d'origine naturelle, ils regroupent	<ul style="list-style-type: none"> • Inondation, • Feu de forêt, • Mouvement de terrain, • Tempête, • Cyclone, • Séisme • Avalanche, • Eruption volcanique ;
2. les risques technologiques : d'origine anthropique, ils regroupent	<ul style="list-style-type: none"> • les risques industriels, • les risques nucléaires, • les risques biologiques, • les risques rupture de barrage... • Risques chimiques • Risques physiques • Risques ergonomiques • Risques psychosociaux : • Risques liés à la sécurité :
3. les risques de transports collectifs	(personnes, matières dangereuses) sont des risques technologiques. On en fait cependant un cas particulier car les enjeux (voir plus bas) varient en fonction de l'endroit où se développe l'accident ;
4. les risques de la vie quotidienne	(accidents domestiques, accidents de la route...)
5. les risques liés aux conflits	

Seules les trois premières catégories font partie de ce qu'on appelle le risque majeur.

Deux critères caractérisent le risque majeur :

- **une faible fréquence** :l'homme et la société peuvent être d'autant plus enclins à l'ignorer que les catastrophes sont peu fréquentes ;
- **une énorme gravité** :nombreuses victimes, dommages importants aux biens et à l'environnement.

Les risques liés aux conflits sont apparentés aux risques majeurs : en effet, dans notre société développée, ils sont caractérisés par ces deux critères.

1.2.4 Risque industriel

1.2.4.1 Définition

Le risque industriel est défini comme un évènement accidentel se produisant sur un site industriel mettant en jeu des produits et/ou des procédés dangereux et entraînant des conséquences immédiates graves pour le personnel, les riverains, les biens et l'environnement. Afin d'en limiter la survenue et les conséquences, les établissements les plus dangereux sont soumis à une réglementation particulière (classement des installations) et à des contrôles réguliers. Néanmoins, ce n'est pas parce qu'un site n'est pas classé qu'il ne présente pas de danger.

Ses principales manifestations sont :

- l'incendie dû à l'ignition de combustibles par une flamme ou un point chaud (risque d'intoxication, d'asphyxie et de brûlures),.
- l'explosion due au mélange combustible / comburant (air) avec libération brutale de gaz (risque de décès, de brûlures, de traumatismes directs par l'onde de choc...).
- la pollution et la dispersion de substances toxiques, dans l'air, l'eau ou le sol, de produits dangereux avec une toxicité pour l'homme par inhalation, ingestion ou contact .

Ces différents phénomènes peuvent être associés .Ces risques industriels sont qualifiés de « risques majeurs » quand ils sont caractérisés par une probabilité faible et une gravité importante. Cette notion de « risques majeurs » ne concerne que les risques environnementaux.

1.2.4.2 Familles de risques industriels

Les principales familles de risques qui sont à l'origine des accidents de travail et des maladies professionnelles sont:

Tab 1.3 : *Différentes familles de risques industriels*

1. Risques Mécaniques	9. Chutes de hauteurs
2. Risques Electriques	10. Manutentions manuelles
3. Risques ambiances chimiques (Produits, Gaz, Fumées ,Poussières)	11. Manutentions mécaniques
4. Risques ambiances physiques (Bruits, chaleur, éclairage, vibrations, rayonnements	12. Organisation du travail (Co-activité, horaires ...)
5. Risques Incendie	13. Circulation hors trajet
6. Risques Explosions	14. Trajets
7. Risques Biologiques	15. Activité physique (Postures, pénibilité)
8. Chutes de plein pieds	

1.2.5. Qu'est ce qu'un accident majeur ?

Le terme accident majeurs ne caractérise que les risques technologiques [Marcossian, 2006]24 .L'accident est défini comme un événement imprévu et soudain, ayant entraîné des dégâts corporels et matériels qui peuvent être plus ou moins importants. Généralement, il n'existe pas une définition rigoureuse de l'accident majeur. Un accident est appelé majeur ou catastrophique, lorsqu'il répond conventionnellement aux trois critères suivants :

Accident ayant causé un nombre élevé de victime, blessés ou mort et des dégâts importants

Accident ayant nécessité la mise en place d'importants moyens de secours et interventions

Accidents ayant conduit à une pollution permanente ou sur une longue durée, de l'environnement (faune, flore, constructions) avec des dégâts importants.

En résumé, à l'origine de tout accident il existe un ou plusieurs risques ou dangers, et lorsque les nombreux périmètres sont réunis, le risque donne naissance à un accident qui peut devenir majeurs s'il répond aux trois critères précédents.

1.2.5.1 Accidents technologiques majeurs :

Les accidents technologiques majeurs résultent des risques technologiques, autrement dit des risques créés par l'homme lors de ses activités.

1.2.5.2 Classification des risques :

a- Classification selon la gravité et la fréquence :

Chaque personne est exposée en permanence à des risques de toute nature. Ces risques peuvent faire l'objet d'une première classification : Risques de la vie quotidienne, Risques naturels, Risques technologiques, Risques conflictuels, Risques de transports.

Toutefois, cette typologie ne permet pas de distinguer les risques courants de ceux qu'on nomme majeurs (sur laquelle l'étude s'intéresse). Les critères fréquence et gravité peuvent permettre d'appréhender cette distinction à l'image de la courbe réalisée par Farmer.

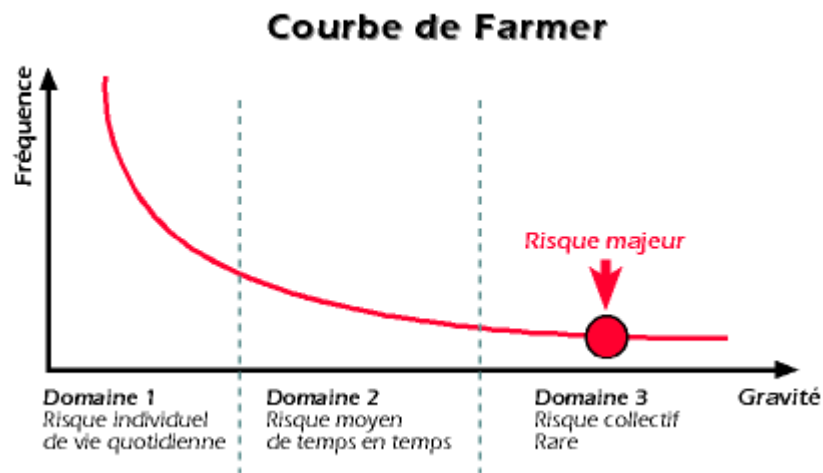


Figure 1 1 Courbe de Farmer (1967)

Domaine 1 : Evénement à fréquence très élevée et de faible gravité qui sont du domaine du risque individuel

Ex : accident de voiture avec tôles froissées, dégâts matériels : plusieurs millions d'accidents par an.

Domaine 2 : Evénement à fréquence moyenne aux conséquences graves :

Ex : victimes et dégâts importants, plusieurs milliers de décès par an.

Domaine 3 : Evénements à fréquence faible et de grande gravité. Il s'agit d'un risque collectif : c'est le risque majeur

Ex : accident d'un car à Beaune (France) en juillet 1982, 53 victimes - carambolage de Mirambeau en novembre 1993, 17 morts et 49 blessés graves).

1) Classement des risques selon la loi 04-2026

Les risques, selon les articles 10 et 26 de La loi 04/20 du 25 décembre 2004 relative à la Les risques.

2) Classement des risques urbains selon la nature :

1.2.6. D'autre définition de risque industriel :

Un risque industriel majeur est un événement accidentel se produisant sur un site industriel et entraînant des conséquences immédiates graves pour le personnel, les populations avoisinantes, les biens et/ou l'environnement.

Le risque industriel naît de la mise en œuvre de l'activité humaine à des fins technologiques. Il est lié à

a) **la nature des produits présents** : (inflammables, explosifs, toxiques) .

b) **aux procédés de fabrication** : (en fonction de leur état, de leur température ou de leur pression, certains produits peuvent devenir dangereux) .

c) **aux installations** : (choix des matériels, des matériaux, des modes de stockage, ...) .**d) au facteur humain** : (la majorité des accidents surviennent par négligence, méconnaissance ou erreur d'appréciation) aux phénomènes extérieurs (inondation, séisme, accident d'industrie voisine, malveillance,)

Les activités génératrices de risques sont les industries chimiques, pétrochimiques ou de stockage (entrepôt de produits combustibles, toxiques, inflammables ; silos de stockage de céréales ; dépôt d'hydrocarbures ou de GPL ; etc.). Tous ces établissements sont des établissements fixes qui produisent, utilisent ou stockent des produits répertoriés dans une nomenclature spécifique. Les types de risques industriels :

1.2.7. Les générateurs de risques regroupés en deux familles: sont

-1. Les industries chimiques :

produisent des produits chimiques de base, des produits destinés à l'agroalimentaire (notamment les engrais), les produits pharmaceutiques et de consommation courante (eau de javel, etc.) ;

-2. Les industries pétrochimiques :

produisent l'ensemble des produits dérivés du pétrole (essences, goudrons, gaz de pétrole liquéfié).

1.2.8. Les effets de risque industriels :

Les effets d'un accident industriel sont de trois ordres pouvant intervenir seuls, successivement, ou simultanément.

a) Les effets thermiques :

Ils sont liés à une explosion ou à la combustion d'un produit inflammable. Il en résulte des brûlures plus ou moins graves .

b) Les effets mécaniques :

Ils résultent d'une surpression suite à une onde de choc (déflagration ou détonation), provoquée par une explosion. Les lésions aux tympans, aux poumons, en sont les conséquences principales .

c) **Les effets toxiques :**

Une fuite de substance toxique (chlore, ammoniac, phosgène, acide, etc.) dans une installation peut, par l'inhalation, par contact avec la peau ou les yeux, ou par ingestion provoquer de graves lésions. Les effets peuvent être, par exemple, un œdème aigu du poumon, une atteinte au système nerveux ou des brûlures chimiques cutanées ou oculaires.

Les risques industriels en France sont liés à l'implantation des sites dits à hauts risques. On parle de sites classés Seveso seuil haut du fait de la réglementation spécifique les régissant.

Date	Localisation	Type d'accident	Victimes et dégâts
1966	Feyzin –France	Incendie d'une industrie pétrochimique	18 morts
1974	Flixborough - Grande Bretagne	Explosion sur un site industriel	28 morts
1976	Seveso - Italie	Fuite de dioxine d'une usine chimique	Pas de mort sur le coup, mais 37 000 personnes touchées
1984	Bhopal - Inde	Fuite d'un gaz toxique	Environ 2 500 morts et 250 000 blessés
1984	Mexico-Mexique	Explosion d'une citerne de gaz de pétrole liquéfié	Plus de 500 morts et 7 000 blessés
2001	Toulouse - France	Explosion d'un site industriel	30 morts et plus de 2 000 blessés

1.2.9. Les enjeux :1) **Les enjeux humains :**

il s'agit des personnes physiques directement ou indirectement exposées aux conséquences de l'accident. Elles peuvent se trouver dans un lieu public, chez elles, sur leur lieu de travail, etc. Le risque peut aller de la blessure légère au décès. Le type d'accident influe sur le type des blessures.

2) **Les enjeux économiques :**

un accident industriel majeur peut altérer l'outil économique d'une zone. Les entreprises, les routes ou les voies de chemin de fer voisines du lieu de l'accident peuvent être détruites ou gravement endommagées. Dans ce cas, les conséquences économiques peuvent être désastreuses.

3) **Les enjeux environnementaux :**

un accident industriel majeur peut avoir des répercussions importantes sur les écosystèmes. On peut assister à une destruction de la faune et de la flore, mais les conséquences d'un accident peuvent également avoir un impact sanitaire (pollution d'une nappe phréatique par exemple).

1.2.10 Les conséquences sur les personnes et les biens :

Les conséquences de ces effets peuvent porter atteinte à la santé humaine, aux biens et à l'environnement.

a) Les conséquences humaines :

Il s'agit des personnes physiques directement ou indirectement exposées aux conséquences de l'accident. Elles peuvent se trouver dans un lieu public, chez elles, sur leur lieu de travail, etc. Le risque peut aller de la blessure légère au décès. Le type d'accident influe sur le type des blessures

b) Les conséquences économiques :

Un accident industriel majeur peut altérer l'outil économique d'une zone. Les entreprises ou les routes voisines du lieu de l'accident peuvent être détruites ou gravement endommagées. Dans ce cas, les conséquences économiques peuvent être désastreuses .

c) Les conséquences environnementales :

Un accident industriel majeur peut avoir des répercussions importantes sur les écosystèmes. On peut assister à une destruction de la faune et de la flore terrestre ou aquatique, mais les conséquences d'un accident peuvent également avoir un impact sanitaire (pollution d'une nappe phréatique par exemple).

1.3.La gestion des risques :

Gérer un risque est d'être capable à caractériser l'aléa et ses composants à savoir son intensité, son extension spatiale et sa probabilité d'occurrence [BECK, 2006]38. La connaissance du risque est nécessaire pour toute gestion efficace de celui-ci, on ne peut pas limiter un risque si on ne le connaît (on ne possède pas des connaissances sur l'aléa comme sur les éléments exposés). La gestion des risques comprend toutes les actions qui peuvent être adaptées pour réduire le risque ainsi que la mise en place de toutes ces actions. Elle associe deux grands concepts : le concept de prévention et le concept de protection.

.La prévention

concerne toutes les actions mises en place pour réduire la fréquence– d'occurrence d'un événement (avant que l'accident se produise).

.La protection

qui précise les actions de protection qui ont pour objectif de réduire la gravité– d'un événement

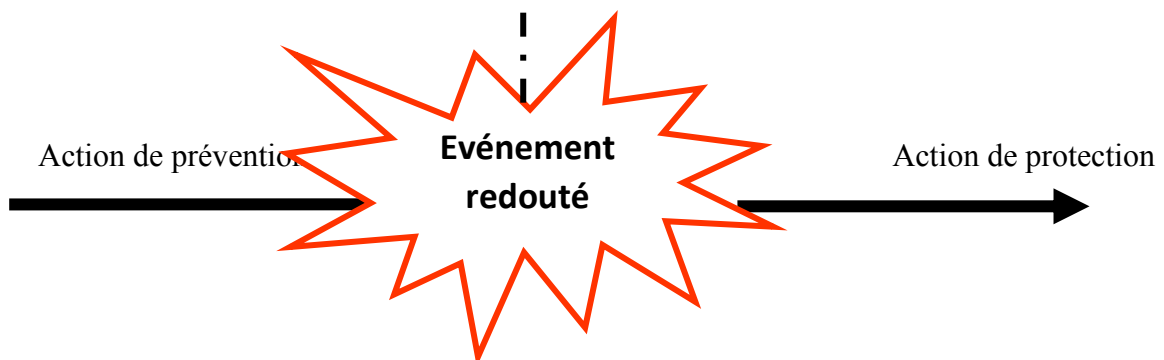


Figure 1 2 Action de prévention et de protection

1.3.1. La prévention des risques industriels :

La prévention des risques est définie comme étant : « l'ensemble des moyens mis en place pour supprimer ou du moins atténuer les risques et ainsi réduire, dans de large proportions, la probabilité de survenance d'un accident » [Margossian, 2006, p155]³⁹. Il prend en compte la démarche générale de prévention qui consiste à planifier des actions avant la survenue de l'événement et regroupe l'ensemble des dispositions à mettre en œuvre pour réduire l'impact d'un phénomène naturel ou anthropique prévisible sur les personnes et les biens. Elle s'inscrit dans une logique de développement durable, puisque, à la différence de la réparation post crise. La prévention tente de réduire les conséquences économiques, sociales et environnementales d'un développement imprudent de notre société. Le concept de prévention des risques est le plus souvent utilisé, notamment dans le cadre réglementaire et législatif des risques majeurs. La démarche générale de prévention des risques portent sur les différentes composantes suivantes :

a) La connaissance des phénomènes, de l'aléa et du risque :

Depuis des années, des outils de recueil des données collectées sur les phénomènes sont mis au point et utilisés, notamment par des établissements publics spécialisés (Météo par exemple). Les connaissances ainsi collectées se concrétisent à travers des bases de données (sismicité, climatologie), des atlas (cartes des zones inondables, etc.). Qui permettent d'identifier les enjeux et d'en déterminer la vulnérabilité face aux aléas.

b) La surveillance :

L'objectif de la surveillance est d'anticiper le phénomène et de pouvoir alerter les populations à temps. Elle nécessite pour cela l'utilisation de dispositifs d'analyses et de mesures intégrés dans un système d'alerte des populations. La surveillance permet d'alerter les populations d'un danger, par des moyens de diffusion efficaces.

L'atténuation du risque

L'atténuation du risque suppose notamment la formation des divers intervenants (architectes, ingénieurs, etc.) dont l'objectif est d'atténuer les dommages, en réduisant soit l'intensité de certains aléas, soit la vulnérabilité des enjeux.

La prise en compte des risques dans l'aménagement :

Afin de réduire les dommages lors des catastrophes naturelles, il est nécessaire de maîtriser l'aménagement du territoire, en évitant d'augmenter les enjeux dans les zones à risque et en diminuant la vulnérabilité des zones déjà urbanisées. A cette égard, quelque pays du monde ont adoptés de nouveaux dispositifs appelés plan de Prévention des Risques.

c) Le retour d'expérience :

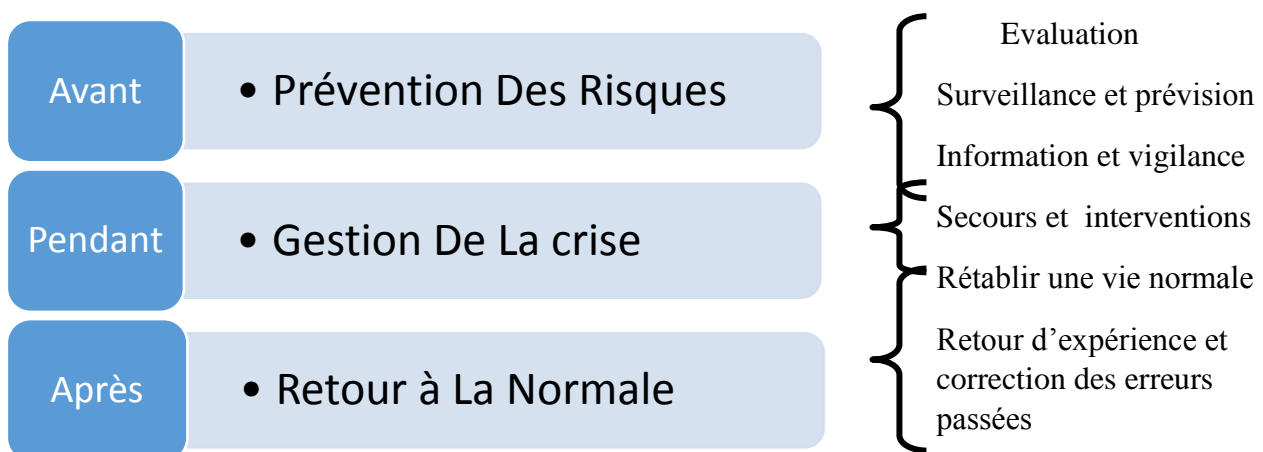
Des rapports de retour d'expérience sur les catastrophes naturelles sont également établis par des experts. Ces missions sont menées au niveau national, lorsqu'il s'agit d'événements majeurs. L'objectif est de permettre aux services et opérateurs institutionnels, à mieux comprendre la nature de l'événement et ses conséquences. Ainsi chaque événement majeur fait l'objet d'une collecte d'informations.

L'information préventive :

La prévention va de pair avec l'information préventive des populations qui vise à renseigner le citoyen sur les risques naturels ou technologiques, ainsi que sur les mesures de sauvegarde prévues pour s'en protéger ou en réduire les effets. Dans la démarche de prévention, sont prises en compte les actions de prévention et de protection, ces deux notions sont à relier, seulement l'événement qui permettra de distinguer ces deux notions. Pour une gestion efficace des risques, les collectivités doivent agir à chaque étape d'événement à travers le triple processus du cycle de l'événement :

- Activités pré-événement : La prévention ;
- Activités de prise en charge pendant l'événement : la gestion de la crise ;
- Activités post-événement : c'est le retour à la normale. Reprise des activités et correction des erreurs passées.

C'est à travers ce cycle d'activités (Schéma) que seront testées et évaluées les dispositifs de prise en charge des risques en relation avec le développement de l'urbanisation telle qu'elle s'est pratiquée, telle qu'elle est appelée à se développer et telle qu'elle devrait se développer pour réduire le plus possible la vulnérabilité des hommes et des biens.



1.3.3. Politique internationale :

de gestion des risques Le monde est toujours secoué par de grandes catastrophes et accidents majeurs qui sont produites en milieu urbain mettant en péril la vie de milliers de personnes vivant dans les villes. Face à ces aléas, les Nations Unies ont souligné la nécessité absolue d'une politique gestion des risques majeurs comme élément déterminant du développement durable.

1) Forum des Nations Unies :

Ce forum a eu lieu le 5 juin 2007 en présence de plus de 100 gouvernements et des organisations, il est consacré pour « faire face aux nouveaux défis que posent les changements climatiques et les risques urbains sur les populations vulnérables ». Ce forum fait suite aux conférences mondiales tenues par les NU. Il s'inscrit en droite ligne dans la décennie (2005-2015) des risques consacrés par la conférence mondiale de Hyōgo.

2) Conférence de Kōbe :

C'est la 2^{ème} conférence mondiale sur la Prévention des Catastrophes a été organisée à KOBEHYOGO au Japon du 18-22 janvier 2005 par le Secrétariat de la Stratégie Internationale pour la Prévention des Catastrophes. Elle concrétise l'adoption d'une charte dénommée « cadre d'action de Hyōgo pour 2005-2015 » qui définit la stratégie à entreprendre durant les dix prochaines par les gouvernements pour la réduction de la vulnérabilité et l'exposition aux aléas.

3) Conférence Ministérielle de l'Afrique :

[2005-2010] La Première Conférence Ministérielle sur la Prévention des Risques de Catastrophes en Afrique est tenue à Addis-Abeba en décembre 2005, par la participation de plusieurs organismes internationaux des NU. Cette conférence a adopté un Programme d'Action [2005-2010] pour la mise en œuvre d'une Stratégie régionale africaine pour la réduction des risques de catastrophe (RRC), elle a pour objectif, conformément au Cadre d'Action de Hyōgo, le lancement d'une Plate-forme Régional Africaine sur la RRC. Une deuxième conférence ministérielle sur la RRC en Afrique a eu lieu à Nairobi du 14-16 avril 2010, sous l'égide de la Commission de l'Union Africaine⁴⁰, en vue de renforcer le mécanisme d'expertise régionale pour des politiques plus coordonnées, définir des programmes régionaux pour la RRC.

1.3.4. La nécessité d'étudier les risques en milieu urbain :

Il est d'autant plus nécessaire d'étudier les risques en milieu urbain que l'on observe une augmentation du nombre de catastrophes et des accidents auxquelles elles sont exposées et, dans certains cas, une absence de mémoire et de culture des risques :

1) L'augmentation du nombre de catastrophe et d'accident :

Les catastrophes naturelles et celles industrielles sont en augmentation, elles sont générés en milieu urbain causant des dommages matériels et des atteintes humaines considérables.

L'absence de culture de mémoire des risques :

La vulnérabilité des populations des villes est accrue par une culture des risques peu présente et par la méconnaissance de certains risques (Peu médiatisés voir peu maîtrisés).

1.4 Hygiène et Sécurité industriel :

1.4.1 Introduction :

L'Hygiène, la Santé et la Sécurité au Travail tiennent aujourd'hui une place de plus en plus prépondérante dans la stratégie et le management de l'entreprise, car au-delà du drame humain et social qu'occasionnent un accident du travail (AT) ou une maladie professionnelle (MP), les impacts économiques et juridiques sont souvent non négligeables. Afin de sauver des vies au sein d'une entreprise, des dispositions pénales se sont renforcées ces dernières années, pouvant aller jusqu'à engager la responsabilité civile, voire pénale du chef d'entreprise. L'objectif consiste à lui faire prendre conscience de son rôle moteur dans la politique de prévention et de maîtrise des risques au sein de l'activité qu'il dirige. Une politique de prévention des risques doit être entamée où il s'agit d'identifier les dangers, évaluer, maîtriser et gérer les risques afin d'éviter les accidents. Dans le travail, les salariés sont exposés aux différents risques sans connaître véritablement leur incidence (impact) à long terme sur la santé humaine (MP). La prise de conscience des situations dangereuses auxquelles peuvent être exposés les salariés est une nécessité pour maîtriser les risques associés et concrétiser leur sécurité et celle des biens et de l'environnement.

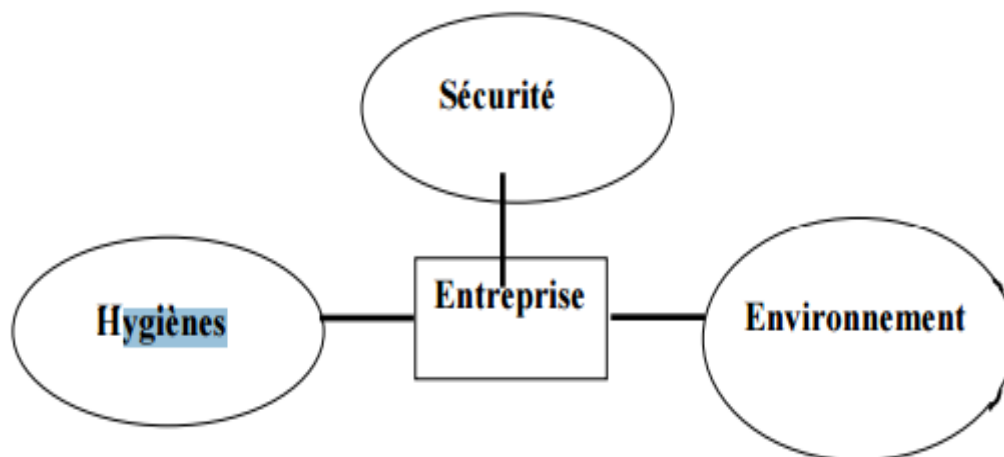


Figure 1 3 Les enjeux d'une entreprise

1.4.2 Définition :

1. Hygiène:

C'est l'ensemble des moyens collectifs ou individuels, les principes et les pratiques visant à préserver ou à favoriser la santé;

Il en est ainsi des mesures préventives à mettre en œuvre dans le cadre de la lutte contre les maladies contagieuses

En milieu professionnel, on cite, par exemple:

Exécution des contrats de nettoyage

Amélioration des conditions d'hygiène et de santé,

Interdiction de prendre des repas dans les locaux des services,

Aération des locaux de travail

Sécurité :

La sécurité est l'ensemble des méthodes ayant pour objet de supprimer, ou du moins minimiser, les conséquences des défaillances ou des incidents, dont un dispositif ou une installation peuvent être l'objet, conséquences qui ont un effet destructif sur le personnel, le matériel ou l'environnement ou de l'un ou de l'autre.

. Structure HSE :

. Démarche de développement durable- approche HSE :

1. Protection des hommes et des populations :

Maîtrise de la santé des salariés à leur poste de travail

2. Protection des biens/Efficacité économique :

Rentabilité, réputation, image de marque, sûreté

3. Respect des tiers et de notre environnement :

rejets chroniques et accidentels / déchets

produits achetés / vendus (cycle complet de la vie du produit)

4. Respect des lois et règlements imposés par les pouvoirs publics :

Sécurité / Hygiène-Santé / Protection de l'environnement résultent de la bonne articulation des éléments de prévention (règlements, actions mises en œuvre) :

modalité d'application et de contrôle

recherche permanente basée sur la connaissance des textes et sur l'expérience

formation du personnel.

. Fonctions habituelles d'une structure HSE :

Rôle de la structure Hygiène et Sécurité :

Protéger l'homme et son environnement contre l'homme par : La prévention, l'élimination, la réduction des risques.

Objectifs du service Hygiène et Sécurité :

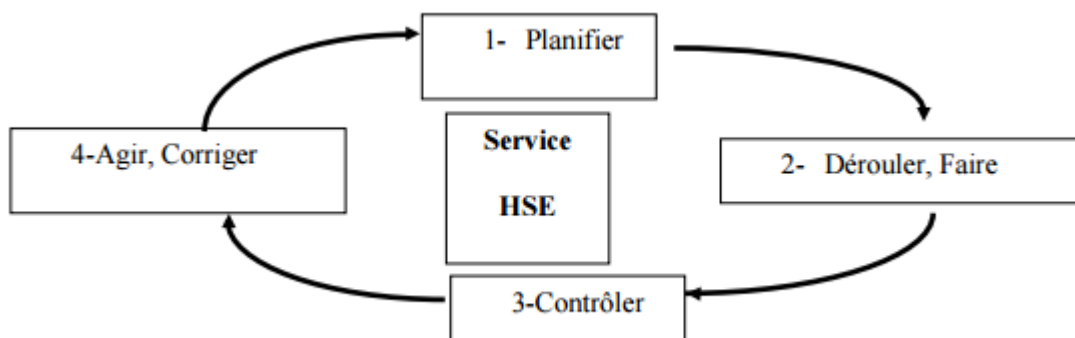


Figure 1 4 Cycle d'amélioration continue (roue de Deming)

Conclusion :

L'hygiène, la sécurité et l'environnement est la discipline qui va contribuer le plus efficacement à la gestion des risques chroniques traditionnels qui sont encore loin d'être suffisamment maîtrisés, tant dans les pays en développement que dans les pays plus industrialisés. Cependant, il est important que l'application des principes de l'Hygiène du Travail se fasse dans une perspective plus large où la problématique globale de la santé et du bien-être des travailleurs est prise en compte. C'est pourquoi une approche participative est nécessaire qui doit se faire en adéquation avec l'état de développement du pays considéré, de ses propres valeurs, de son système socioculturel et législatif, de ses ressources ainsi que de la culture spécifique de l'entreprise elle-même. Ce document fournit alors des éléments de savoir que les étudiants doivent acquérir en ce qui concerne les objectifs du HSE.

Chapitre 02

Généralité sur l'incendie industriel

2.1 INTRODUCTION

Les risques technologiques (ou anthropiques), sont ceux engendrés par l'activité humaine. Parmi ces risques, on a les risques industriels. Ces derniers, sont qualifiés comme des événements accidentels qui se produisent sur des sites industriels entraînant des conséquences immédiates graves pour le personnel, les riverains, et l'environnement. Plusieurs secteurs sont concernés, comme la pétrochimie, le secteur minier, l'agroalimentaire ou le nucléaire. Leur fonctionnement implique en effet des activités à risques majeurs, mais aussi la manipulation et/ou le stockage de matières dangereuses, répertoriées à haut risque de toxicité, comme les hydrocarbures, les produits inflammables, les engrais, etc... Par conséquent, ces sites industriels sont soumis à des réglementations spécifiques et à des contrôles réguliers.

En général, les risques industriels sont rares, mais leur gravité est importante. Les conséquences varient en fonction de la nature, de la gravité et de localisation de l'accident. Ainsi, les effets des risques industriels sont classés selon trois typologies, qui peuvent se combiner:

- **Effets thermiques:** ils sont liés à une combustion d'un produit inflammable ou combustible ou à une explosion.
- **Effets mécaniques :**ils résultent d'une onde de choc (déflagration ou détonation), provoquée par une explosion. Celle-ci peut être issue d'un explosif, d'une réaction chimique violente, d'une combustion violente, d'une décompression brutale d'un gaz sous pression ou de l'inflammation d'un nuage de poussières combustibles.
- **Effets toxiques :**ils résultent de l'inhalation d'une substance chimique toxique comme le chlore, l'ammoniac, le phosgène, etc., suite par exemple à une fuite sur une installation, à une réaction chimique ou à la combustion de produits dégageant des fumées toxiques. Les effets sur la santé peuvent se présenter sous la forme, par exemple, d'un œdème du poumon ou d'une atteinte au système nerveux. L'effet toxique est la conséquence du rejet accidentel de produit polluant sous forme de nuage gazeux, consécutif par exemple, à une rupture de tuyauterie, à la destruction de réservoirs de stockage ou à un incendie.



- Un nuage toxique rejeté dans l'atmosphère peut s'étendre, se déplacer sous les effets des conditions météorologiques (le vent et la stabilité de l'atmosphère notamment), et à terme se dissiper dès lors que la fuite est maîtrisée.

Le nuage toxique aura un effet sur la personne humaine s'il atteint la zone ou l'environnement où elle se trouve. L'effet toxique sur l'homme dépend du produit, de sa concentration dans l'air, et de la durée pendant laquelle la personne y est exposée. Le nuage toxique pénètre dans les bâtiments sous l'effet notamment du vent, par toutes les ouvertures et les défauts d'étanchéité des constructions. Certains gaz toxiques n'ont pas d'odeur, la plupart ne se voit pas.

Outre les effets directs sur les biens et les personnes, ces phénomènes entraînent généralement une pollution de l'air, une contamination des eaux ou laissent des sols pollués par des produits toxiques.

Dans ce qui suit, on s'intéresse essentiellement aux effets thermiques engendrés par les incendies industriels impliquant des produits combustibles utilisés sur les sites industriels. À mesure d'apprendre davantage sur les feux industriels, on est mieux en mesure de quantifier et de prévoir le comportement au feu des matériaux et d'appliquer les connaissances scientifiques au domaine la sécurité industrielle en cas d'incendies industriels. Dans le présent chapitre, on se propose d'examiner certains des principes qui sont à la base des phénomènes liés au feu, dans le but de pouvoir mieux les appréhender.

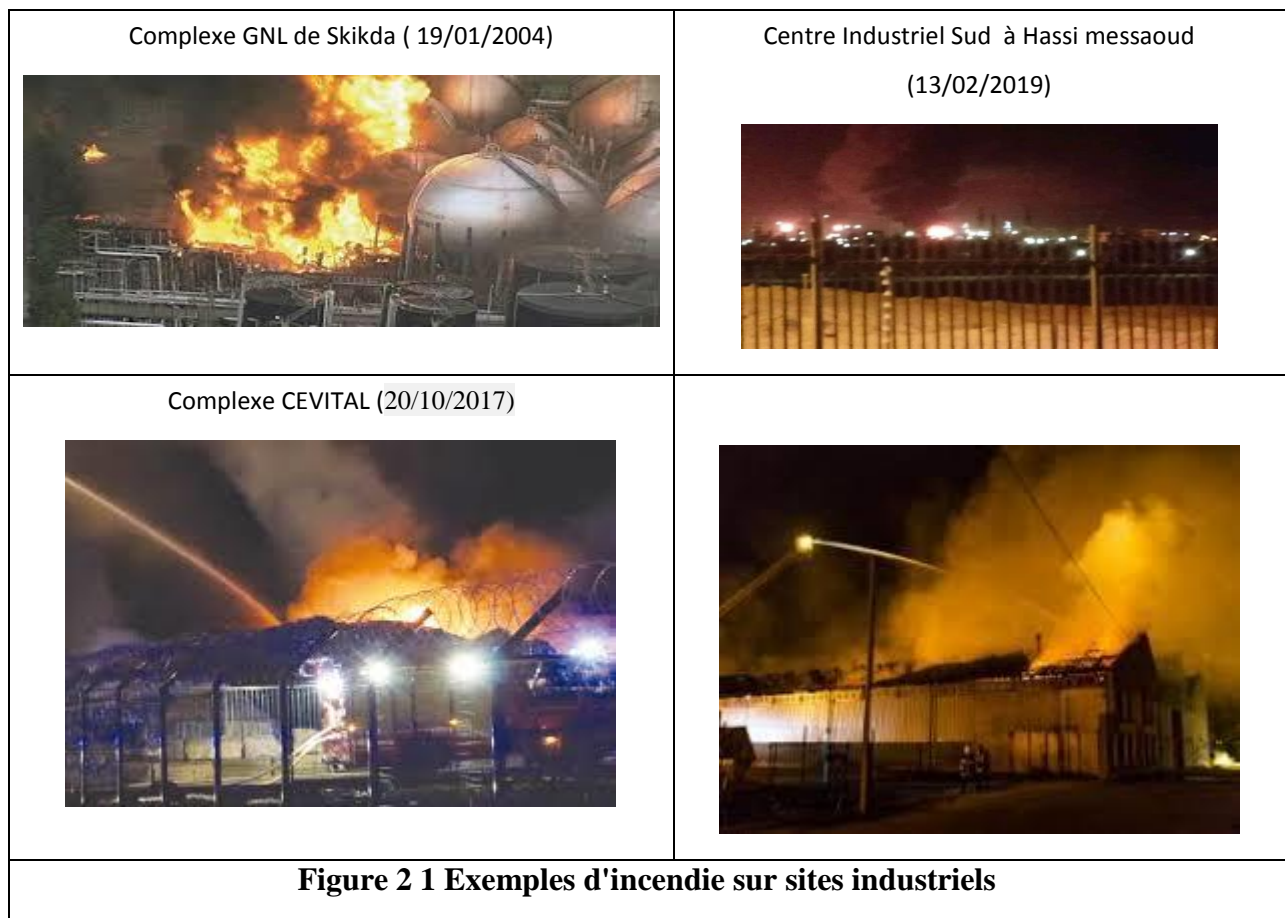
2.2 INCENDIE INDUSTRIEL[2.1]

Cette partie sera consacrée à la description du phénomène d'incendie de façon générale à travers la définition de l'incendie industriel, la définition de la combustion, les différentes formes de combustion, le mécanisme la combustion et en fin les flammes d'un incendie.

2.2.1 Définition

On définit l'incendie industriel comme étant une combustion particulièrement exothermique qui se développe sans contrôle, dans le temps et dans l'espace sur un site industriel classé

(figure 2.1).



2.2.2 Combustion

2.2.2.1 Définition [2.1]

La combustion est une réaction physico-chimique d'oxydoréduction exothermique, déclenchée par une énergie d'activation, lorsqu'on met en présence sous certaines conditions, trois éléments:

- Un **comburant** (souvent l'oxygène de l'air dans un incendie) joue le rôle d'oxydant,
- Un **combustible** joue le rôle de réducteur.

- Une **source d'énergie d'activation** (par exemple: flamme, étincelles, source de chaleur, électricité ou électricité statique).

2.2.2.2 Formes de combustion

Les différentes formes sous lesquelles une combustion peut être vue sont;

- **Combustion lente**

Cette forme de combustion se distingue par une absence de flamme et d'incandescence ainsi que par la faible exo thermicité de la réaction. Cette combustion peut, sous couvert de modifications réactionnelles, se transformer en combustion vive et conduire à des feux de surface.

- **Combustion vive**

Cette forme de combustion caractérise les feux de surface. Les feux industriels sont en effet une combustion vive, généralement accompagnée de l'émission de lumière et de chaleur. La vitesse d'émission de calories est relativement élevée ce qui entraîne une forte exo thermicité de la réaction. Les paragraphes à venir seront donc essentiellement consacrés à ce dernier mode de combustion.

Combustion très vive et combustion instantanée

Ces types de combustions caractérisées par une vitesse de réaction très élevée ne relèvent pas a priori de l'étude des feux industriels.

2.2.2.3 Les combustibles[2.1]

1°. Combustibles liquides

La tendance naturelle d'un liquide à émettre des vapeurs inflammables peut être reliée à la valeur du point d'éclair de la substance en question. Il est également d'usage de parler de la volatilité des substances en vue de caractériser leur propriété à émettre des vapeurs à une température donnée.

De manière schématique, le combustible émet une certaine quantité de vapeurs à une température donnée. Certains liquides émettent suffisamment de vapeurs (par évaporation ou ébullition) à la température ambiante (cas de l'essence), d'autres doivent être modérément réchauffés (gasoil, fuel domestique) ; enfin pour ce qui concerne les fuels plus lourds, l'élévation de température doit généralement être importante.

La combustion des produits liquides (ex. les hydrocarbures) concerne précisément les vapeurs émises par le produit réchauffé et non le liquide lui-même. Cette émission de vapeurs conduit à la formation d'une zone riche en combustible au-dessus de la nappe. Au fur et à mesure de son élévation, le combustible entraîne de l'air froid extérieur.

2°. Combustibles solides

Pour les solides, différents processus d'émission de vapeurs sont possibles suivant la nature du combustible. Celle-ci peut être précédée par une réaction de fusion, par exemple, pour certains polymères (PE,PVC). A noter que les solides à bas point de fusion ont un comportement similaire aux liquides. De façon générale, la quantité de vapeurs émises par un combustible est notamment fonction de l'élévation de la température à laquelle il est soumis. Pour un combustible solide, le processus d'inflammation suit globalement le même schéma que celui présenté pour les combustibles liquides. L'émission de vapeurs ou gaz inflammables reste toutefois plus complexe puisqu'elle met généralement en jeu des réactions de distillation, de pyrolyse (décomposition thermique du combustible sous l'effet de la chaleur), de fusion et éventuellement de sublimation comme le montre le schéma en **figure (2.2)**.

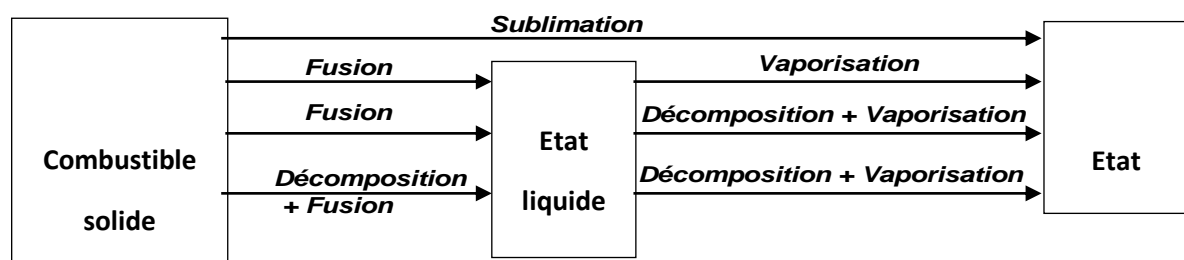


Figure 2 2 Différents processus d'émission de vapeurs pour le combustible solide [2]

2.2.2.4 Inflammation du mélange gazeux

1°. Domaine d'inflammabilité

Lorsque le mélange air-combustible se trouve dans le domaine d'inflammabilité et en présence d'une source d'inflammation, il s'enflamme. Les gaz brûlés sont ensuite évacués vers le haut sous l'effet de la poussée d'Archimède tout en continuant à entraîner l'air ambiant. L'essentiel de l'air entraîné (environ 90%) depuis la base de la flamme jusqu'à son sommet dilue les produits de la combustion tout en les refroidissant.

- L'inflammation du mélange gazeux composé d' l'oxygène de l'air ambiant et des vapeurs de combustibles est fonction de la concentration de vapeurs de combustibles dans l'air.
- Chaque produit possède ainsi un domaine d'inflammabilité spécifique, représenté de manière schématique sur **la figure 2.3**.

Ce domaine est délimité par :

1. la limite Inférieure d'Inflammabilité (**LII**) s'exprimant en % de gaz en volume dans l'air. En dessous de cette limite, le mélange est trop pauvre en combustible (ou trop riche en oxygène) pour que la flamme puisse se propager dans le milieu gazeux,

2. la Limite Supérieure d'Inflammabilité (**LSI**) s'exprimant en % de gaz en volume dans l'air .Au-dessus de cette limite, le mélange est trop riche en combustible (ou trop pauvre en oxygène) pour que la flamme puisse se propager dans le milieu gazeux.
3. la courbe de condensation dans la partie gauche.
4. la courbe d'auto-inflammation, qui correspond à une inflammation spontanée du mélange (c'est-à-dire sans apport d'énergie extérieure).

Il convient de signaler que les valeurs des (**LII**) et (**LSI**) d'un combustible sont fonction de la température et de la pression et elles sont déterminées expérimentalement pour chaque substance.

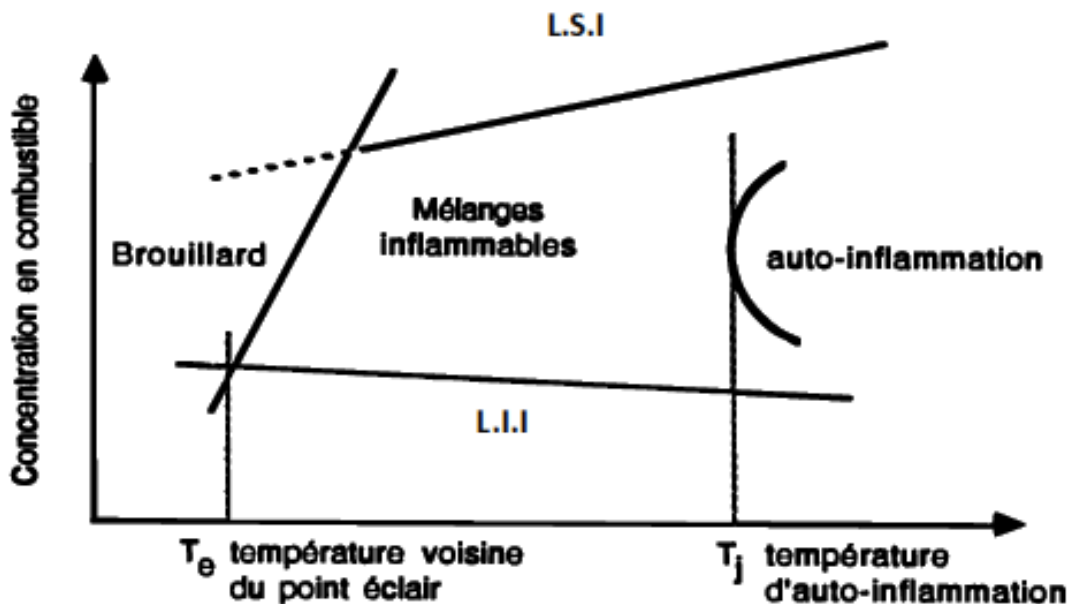


Figure 2 3 Domaine d'inflammabilité (représentation schématique)(Zabetakis, 1965).

2°. Energie d'inflammation

Lorsque le mélange inflammable formé ne se trouve pas à sa température d'auto-inflammation, il est nécessaire de lui fournir une quantité d'énergie pour déclencher l'inflammation. Cette énergie, appelée énergie d'inflammation, peut être d'origine diverse (étincelles, flamme, foudre...) et varie selon les propriétés de la substance inflammable considérée. L'énergie d'inflammation d'une substance dépend en outre de la concentration en gaz, vapeurs du mélange inflammable.

Elle présente ainsi un minimum, l'énergie minimale d'inflammation (**EMI**), pour le mélange le plus susceptible de s'en flammer. L'énergie minimale d'inflammation correspond sensiblement à un

mélange à la stœchiométrie .A noter qu'en général, pour un solide, la quantité d'énergie nécessaire pour générer des vapeurs doit être supérieure à celle nécessaire à la vaporisation d'un liquide.

3° conditions d'inflammation d'un combustible liquide ou solide

Pour qu'il y ait inflammation d'un combustible, il faut que les trois facteurs suivants soient réunis :

1. Une température T supérieure au point d'éclair, afin de disposer d'une quantité suffisante de vapeurs inflammables, au-dessus du liquide ou bien une température T suffisante pour produire des gaz de pyrolyse ;
2. Un mélange air-vapeurs dont la concentration se situe dans les limites d'inflammabilité ;
3. Une énergie d'inflammation suffisante.

Ces trois conditions s'appliquent aux :

- Gaz, distillats dégagés par les combustibles solides et provenant de réactions de distillation ou pyrolyse,
- Vapeurs dégagées par les combustibles liquides et provenant du phénomène d'évaporation.

La combustion est ensuite auto-entretenu si l'énergie rayonnée par la flamme est suffisante pour produire suffisamment de gaz pour réalimenter la flamme.

2.2.2.5 Mécanisme de combustion

La combustion est entretenue par la formation de radicaux libres, atomes ou groupes d'atomes électriquement neutres très instables donc très réactifs. Ces derniers participent fortement au développement du processus des réactions de combustion et à la propagation des flammes.

D'une manière générale, le phénomène de combustion d'un produit intéresse les vapeurs émises par le produit réchauffé. Pour qu'un produit brûle, il faut donc qu'il émette des vapeurs inflammables. La combustion a ainsi lieu en phase gazeuse dans la zone qualifiée de " flamme". Une partie de l'énergie libérée par l'exo thermicité de la réaction de combustion est cédée (rétrocession d'énergie) au combustible, entretenant ainsi l'émission de gaz inflammables.

Un incendie est donc un phénomène de combustion auto-entretenu qui ne peut être arrêté que par la disparition du combustible ou du comburant ou de l'apport d'énergie .Ce mécanisme est représenté de manière très schématique sur la **Figure 2.4**.

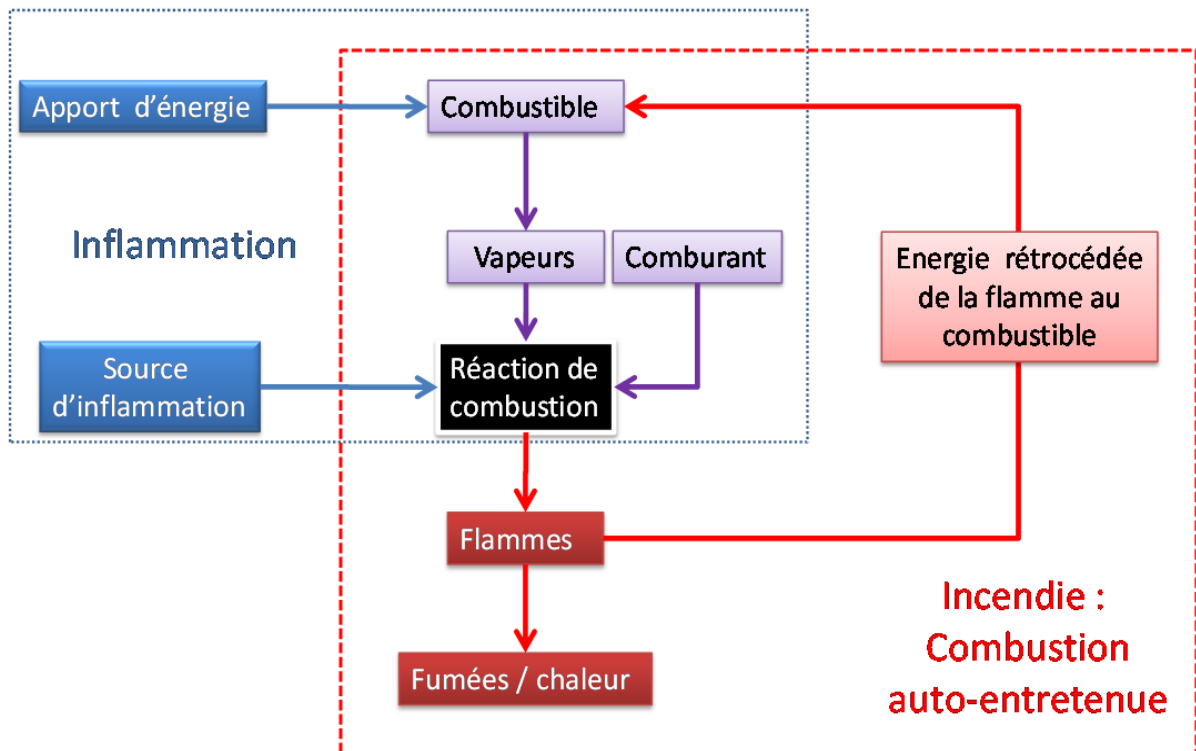


Figure 2 4 Schéma du mécanisme de combustion auto-entretenue [2.2]

2.2.2.6 Flamme

La flamme est définie comme la zone où a lieu la combustion en phase gazeuse. La flamme peut ainsi être assimilée à une surface séparant gaz frais et produits de combustion gazeux (CO₂, H₂O, ...) et suies résultant d'une combustion incomplète. Elle correspond sensiblement à la partie lumineuse de la zone de combustion. De manière simple, une flamme est composée essentiellement de trois zones (Figure 2.5) :

1. Une partie inférieure, dénommée "**zone persistante**" de géométrie quasi constante dans le temps et l'espace. Cette zone se distingue par des températures particulièrement élevées et en conséquence, un pouvoir émissif important.
2. Une partie lumineuse, dénommée "**zone d'intermittente**" pour laquelle la position et la géométrie de la flamme varient fortement au cours du temps. Les températures associées sont sensiblement inférieures aux températures de la zone persistante,
3. Une partie supérieure dénommée "**zone des fumées**" constituées des produits issus de la combustion.

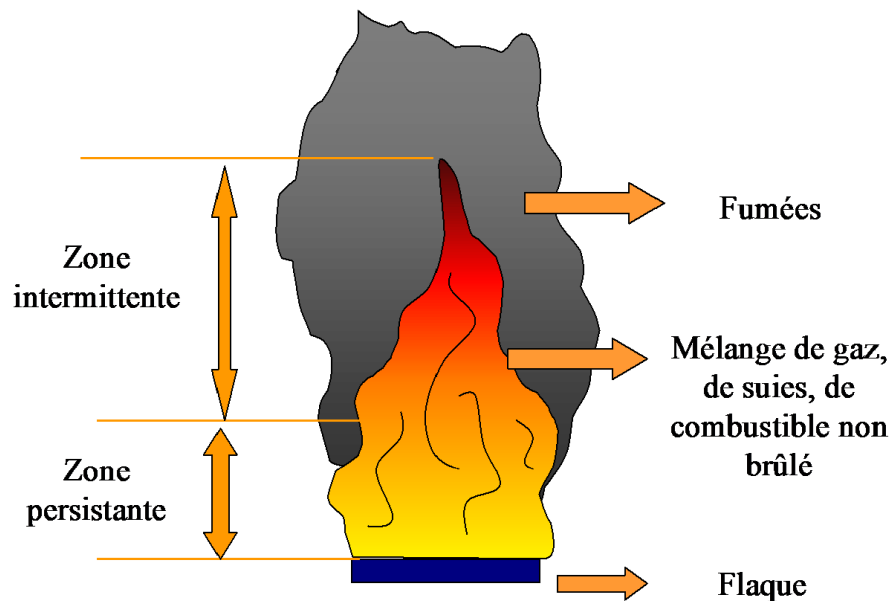


Figure 2.5 Représentation schématique de la flamme [2.1]

2.4 THERMIQUE D'UN INCENDIE

2.4.1 Energie libérée

Lorsque les réactions de combustion sont déclenchées, d'importantes quantités de chaleur sont libérées. Ceci est traduit par la notion de *potentiel calorifique* associé à un combustible, pondérée par le *rendement de combustion* qui définit le rapport entre la quantité de chaleur disponible théoriquement dans l'incendie et celle effectivement libérée.

La quantité d'énergie ainsi émise sous forme de chaleur est notamment transférée vers:

1. l'environnement extérieur de la flamme pouvant entraîner ainsi une propagation de l'incendie
2. le combustible, cette rétrocession d'énergie entretient l'émission de vapeurs inflammables.

Lors de la combustion (**Figure 2.6**) **10%** de l'énergie libérée va permettre d'alimenter la réaction, tandis que le reste est libéré sous forme de rayonnement thermique (transfert électromagnétique dans l'infrarouge), de conduction (transport de chaleur dans la masse) et de convection (mouvement des gaz chauds).

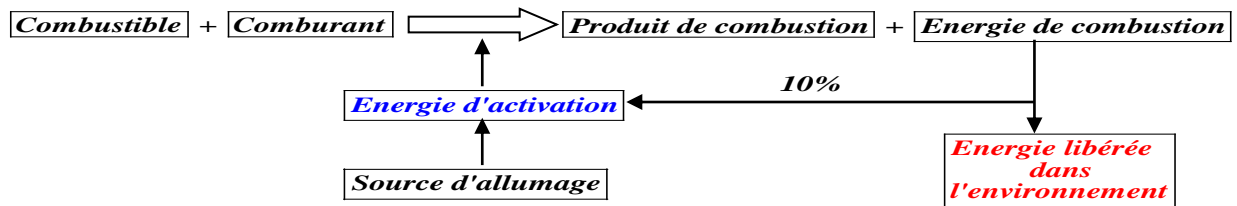


Figure 2 6 Schémas de la combustion d'un incendie

2.4.2. Modes de transport de l'énergie libérée

L'énergie libérée par la combustion est transportée vers le milieu environnant au moyen de trois mécanismes fondamentaux du transfert de chaleur (**Figure 2.7**) : la convection, la conduction et le rayonnement.

Ces trois modes de transfert, ainsi que le transport de brandons incendiaires pour les feux de produits solides, participent à l'éventuelle propagation d'un incendie.

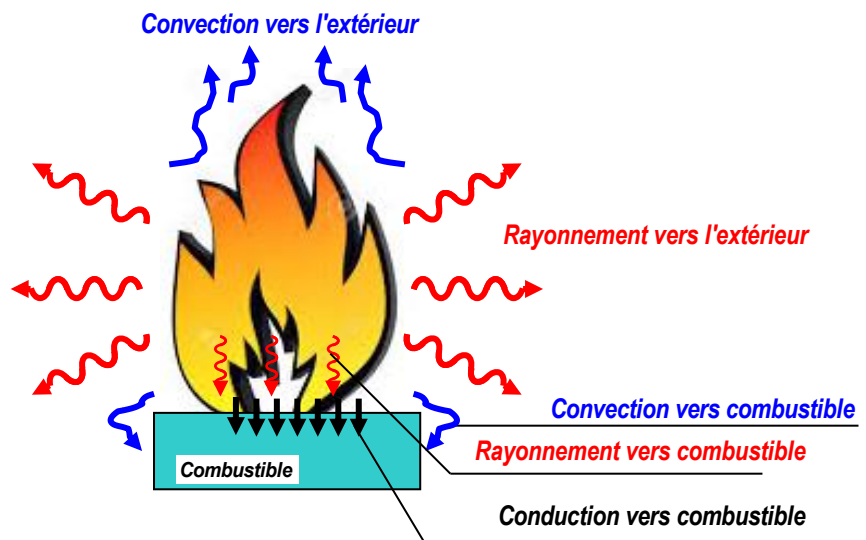


Figure 2 7 Phénomènes thermiques observés dans un feu

2.4.2.1 Convection

La convection est le mode de transfert de la chaleur par le fluide présent dans l'environnement de la flamme (ex. air). Ce mécanisme, impliquant des mouvements de masses d'air chaud, est principalement à l'origine de la propagation verticale de l'incendie et de la formation du panache de fumées. La convection peut être libre ou forcée selon ce qui gouverne le mouvement du fluide en question : différences de densité entre les gaz chauds et l'air froid, action mécanique extérieure telle ventilation, ou désenfumage mécanique. Le phénomène de convection ne pourra être ressenti qu'en se plaçant dans les fumées. Ainsi dans le cas du dimensionnement des effets thermiques d'un

incendie industriel sur l'environnement, c'est bien le rayonnement thermique émis par les flammes qui est intéressant.

2.4.2.2 Conduction

La conduction est le mode de transfert de la chaleur à l'intérieur d'un corps conducteur en contact avec une source chaude, par transfert de calories(exemple, propagation d'un bâtiment à l'autre par échauffement des cloisons mitoyennes).Le phénomène de conduction ne pourra être ressenti qu'en touchant un matériau au contact direct des flammes.

2.4.2.3. Rayonnement

Le rayonnement thermique est le mode de transfert isotrope de la chaleur dégagée par les corps solides, liquides ou gazeux portés à haute température. Le transport de l'énergie thermique est assuré par ondes électromagnétiques. N'exigeant ainsi pas de support matériel, c'est un processus d'échange d'énergie quasi-immédiat entre deux corps distants et susceptibles de générer des effets à des distances importantes. C'est le principal vecteur pour atteindre des cibles humaines potentielles.

D'un point de vue physique, le rayonnement est le résultat d'une émission de vibrations électromagnétiques, dont les longueurs d'onde sont approximativement comprises entre **0.1 μm** et **100 μm** (domaine du visible et fractions de l'ultraviolette de l'infrarouge).Le phénomène de rayonnement La sensation de chaleur que perçoit un observateur lorsqu'il se place en face d'un feu est due au rayonnement émis par les flammes.

Chapitre 03

ETUDE DE CAS

- INCENDIE d'un centre d'enfutage

3.1. SITUATION DU PROBLEME

L'objet de ce chapitre est d'analyser et simuler à travers un scénario, les effets associés à un incendie industriel au niveau d'un centre d'enfûtage. La (figure 3.1) correspond ainsi à une représentation schématique d'une tel centre. A noter que, mis à part l'organisation de l'installation qui peut changer, les éléments composant un centre restent toujours les mêmes.

3.1.1. Conception d'un centre d'enfûtage

Un centre d'enfûtage est constitué de trois zones principales: la zone de remplissage, la zone de stockage des bouteilles et la zone de groupe de réservoirs de stockage (Figure 3.1). Pour une centre d'enfûtage, toutes ces zones sont situées en surface.

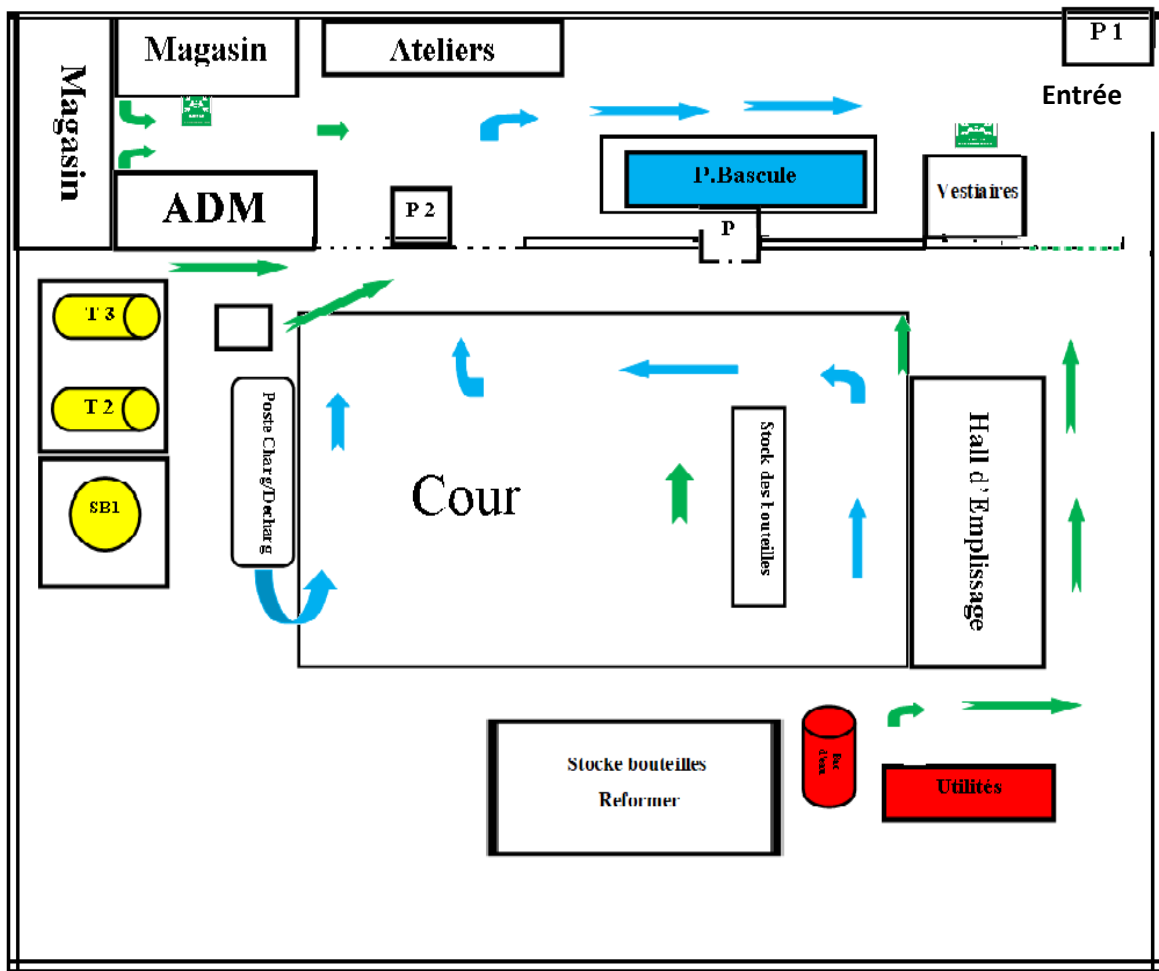


Figure 3 1 Plan de masse du centre enfûtage de NAFTAL (Tiaret)

- **Zone d'emplissage :**

Zone de Pompage : on a 6 pompes GPL dont

2 pompes marque KSB débit chacune 40m³/H

3 pompes marque SIHI débit chacune 35m³/H et un 15m³/H

3 compresseurs a gaz

- **Zone stockage des bouteilles :**

c'est le lieu pour stocker les bouteilles après remplissage. Le stockage des bouteilles de gaz dans un espace de travail est strictement interdit. Conservez les bouteilles de gaz au frais. Ne les stockez pas à proximité d'une source de chaleur ou de matériaux combustibles.

- **Zone de groupe de réservoirs de stockage :**

02 réservoirs cylindriques de capacité 300 m³

01 réservoir sphérique de capacité 2000m³

3.1.2. Origines des incendies dans un centre d'enfûtage

Dans le présent paragraphe , on se focalisera exclusivement sur les accidents qui peuvent induire des phénomènes d'explosions ou d'incendies. L'explosions ou l'incendies peut de produits aussi bien sur la zone de remplissages, que sur la zone de stockages des bouteilles ou dans les réservoirs de stockage durant leur maintenance.

1° . Zones de remplissages:

les accidents ont eu lieu exclusivement lors du remplissage des bouteilles de gaz dans la carrousselle soit par imprudence, soit par défaillance du matériel tel que :

- Surremplissage.
- fuite de gaz
- désactiver le détecteur de gaz
- Vêtements provoquant des incendies
- Défaillance debaromètre

2° . zones de stockage :

Au niveau des zones de stockage, les accidents se sont produits par acte d'imprudence. Ces actes d'imprudence peuvent se caractériser par différents évènements tels que :

- cohésion et frottement des bouteilles de gaz
- Remplissage de réservoir
- la négligence de transporteur
- manque d'aération -

Enfin, il est important de noter que des incidents peuvent se produire lors des phases de remplissage et stockages des bouteilles de gaz, ou charge et décharge des citernes. De tels incidents qui peuvent conduire au plus à des incendies pour l'utilisateur procédant au remplissage des bouteilles, sont principalement dus à la formation d'une atmosphère explosible au niveau du bouchon de remplissage et à une inflammation de cette atmosphère par une décharge d'origine électrostatique.

Au vu de cette synthèse de l'accidentologie, il ressort très nettement que les accidents peuvent se produire soit par défaillance du matériel et des moyens de protection, soit par acte de malveillance soit par imprudence des usagers et des employés. Certains de ces accidents font intervenir des phénomènes d'incendie et d'explosion de nuage inflammable.

3.2. MODELISATION DE L'INCENDIE

En vue d'une modélisation, les scénarios d'accidents à retenir pourraient donc consister à considérer des fuites accidentelles ou intentionnelles d'essence se produisant sur les zones de distribution et de dépotage. La démarche adoptée est celle préconisée par l'INERIS, puisqu'elle nous permettra de caractériser l'intensité de l'incendie de notre cas et de comparer nos résultats avec les valeurs seuils afin de définir l'étendue des zones à risques correspondant aux premiers décès et aux premières atteintes irréversibles sur l'homme et sur les biens d'équipements.

Dans le cas des incendies industriels et quelque soit leurs types, les effets associées à un feu sont :

- Rayonnement thermique, sur l'homme et les équipements,
- Dégagements de fumées, particulièrement aux gaz toxiques qu'elles véhiculent, mais aussi à la diminution de la visibilité induite.
- Pollution des eaux ou des sols liée par exemple, au transport de substances dangereuses pour l'environnement via les eaux d'extinction.

Dans notre cas on s'intéresse essentiellement aux effets thermiques attendus sur les personnes et sur les biens. Ces effets sont évalués à travers la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels. Selon l'INERIS, dans les études de risques des installations deux types de valeurs de référence sont à considérer et qui constituent des seuils réglementaires (**Tableau 3.1 et 3.2**).

Tab 3.1:Seuil réglementaire sur les personnes (Source INERIS)

Flux thermique	Effets sur les personnes
3 kW/m^2	- Effets irréversibles sur l'homme (Zone des dangers significatifs pour la vie humaine)
5 kW/m^2	- Effets létaux sur l'homme (Zone des dangers graves pour la vie humaine)
8 kW/m^2	- Effets létaux significatifs sur l'homme (Zone des dangers très grave pour la vie humaine)

Tab 3.2: Seuil réglementaire sur les biens matériels (Source INERIS)

Flux thermique	Effets sur les structures
5 kW/m ²	- Destruction des vitres significatives
8 kW/m ²	- Effets dominos (Seuil à partir duquel les effets domino doivent être examinés) - Dégâts graves sur les structures
16 kW/m ²	- Seuil d'exposition prolongée des structures - Dégât très graves sur les structures, hors structures béton
20 kW/m ²	- Tenue du béton pendant plusieurs heures - Dégâts très graves sur les structure béton
200 kW/m ²	- Ruine du béton en quelques dizaines de minutes

3.2.1 Modèle de la flamme solide

Sachant que le rayonnement est le mode de transfert privilégié de la chaleur dans un plan horizontal pour des feux de grande taille, l'objet de cette partie est de présenter des méthodes de calcul simple pour l'estimation des effets thermiques radiatifs associés à un feu de nappe. A ce propos, il convient de s'intéresser en priorité à ce mode transfert de chaleur, notamment lorsqu'il s'agit de déterminer des distances d'effets thermiques sur l'homme, sur les objets et sur les infrastructure. Dans cette optique, deux modèles simples peuvent être mis en oeuvre :

- **le modèle du point source**: Dans ce cas, le flux thermique transmis par radiation est supposé émis par une source ponctuelle.
- **le modèle de la flamme solide**: Dans ce cas, la flamme est assimilée à un volume de géométrie simple (cylindre, cône ou parallélépipède rectangle) rayonnant de manière uniforme sur toute sa surface.

Dans le modèle de la flamme solide (**Figure 3.2**), la flamme est assimilée à la surface extérieure d'un volume opaque de géométrie simple (cylindre, parallélépipède rectangle...). Ce modèle repose notamment sur les hypothèses suivantes :

- *La surface visible de la flamme émet des radiations thermiques vers la cible alors que la partie non visible n'en émet pas,*
- *La flamme est assimilée à la surface extérieure d'un volume géométrique simple (cylindre, parallélépipède, cône..).*

La base de ce volume correspond alors à la base du feu et sa hauteur à la hauteur pour laquelle la flamme est visible **50 %** du temps. Les variantes de ce modèle de la flamme solide sont :

- **le modèle de flamme solide mono- zone**: la flamme est supposée rayonner de manière uniforme sur toute sa surface, ce qui revient à considérer une température de flamme et une composition homogènes sur toute la hauteur de celle-ci.

- **Le modèle de flamme solide multi-zones:** la flamme est supposée rayonner de manière non-uniforme sur toute sa surface, l'émittance varie avec la température ($E = f(T)$), où la température T dans le panache de flamme dépend de la hauteur. Cette température est généralement déterminée à l'aide des corrélations de MC CAFFREY (1983).

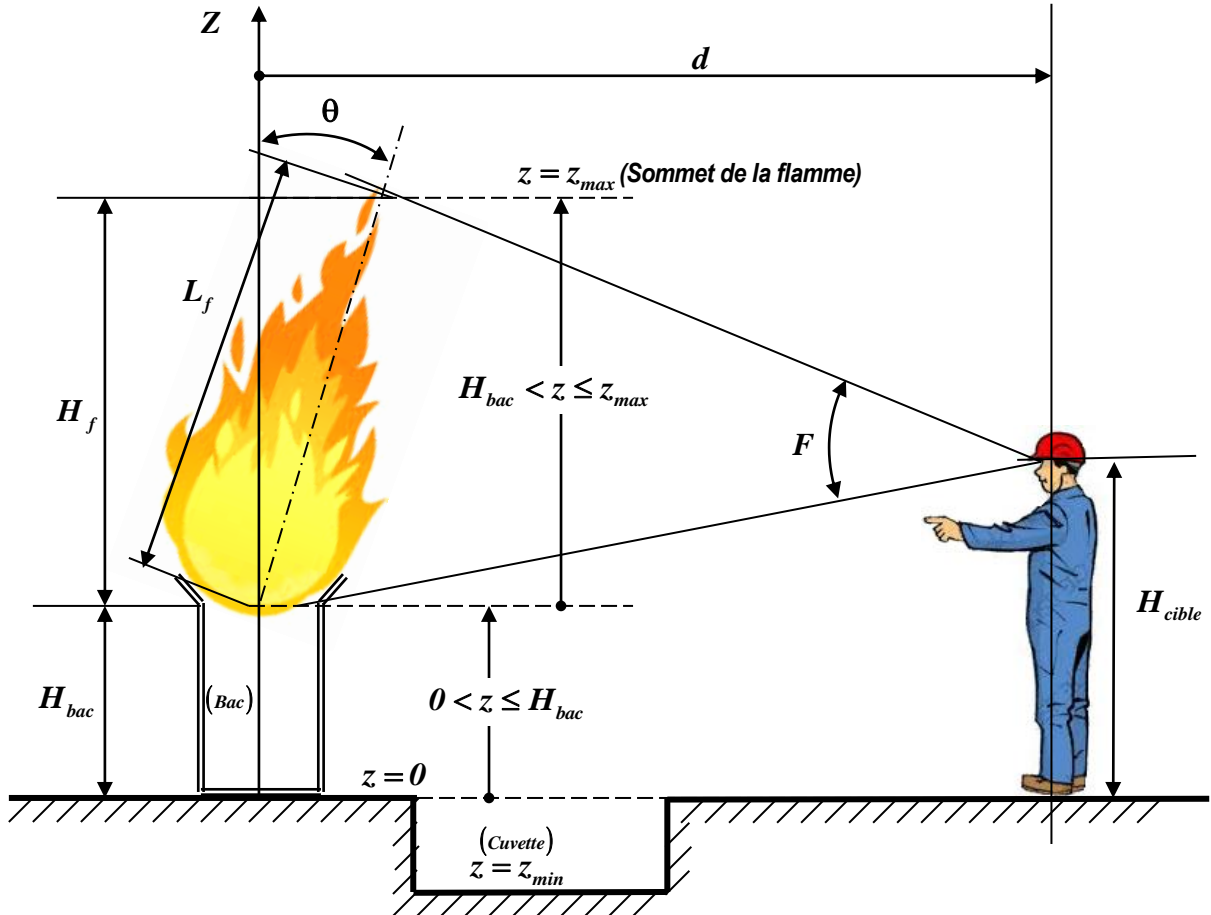


Figure 3 2 Configuration et paramétrage d'un feu de nappe avec flamme mono-zone
(Source INERIS)

Tableau 3.3 : Paramètres géométriques d'un feu en nappe avec flamme mono-zone.

H_{bac}	Hauteur du bac en m (pour feu en cuvette: $H_{bac} = 0$; pour feu en bac: $H_{bac} > 0$)
H_f	Hauteur de flamme en m
L_f	Longueur de flamme en m
θ_f	Angle d'inclinaison de la flamme en deg
F	Angle de vue(Facteur de forme)
H_{cible}	Hauteur de la cible en m
d	Distance entre la cible et l'axe verticale de la flamme en m

3.2.2 Méthode de calculs des effets thermiques d'un incendie

Plusieurs modèles empirique existent pour estimer les conséquences d'un incendie industriel et cela selon sa géométrie. Dans le cas des feux de nappe, c'est le modèle du radiateur présenté par l'INERIS qui est employé. La source de flamme est assimilée à un cylindre vertical émettant une certaine puissance radiative par unité de surface donnée. Le flux thermique reçu par un observateur est calculé en fonction de sa position par rapport à ce plan. Cette méthode permet de calculer la hauteur de flamme et la décroissance du flux thermique en fonction de la distance par rapport à une surface émettrice assimilée à un cylindre représentatif de l'incendie à modéliser (Figure 3.2).

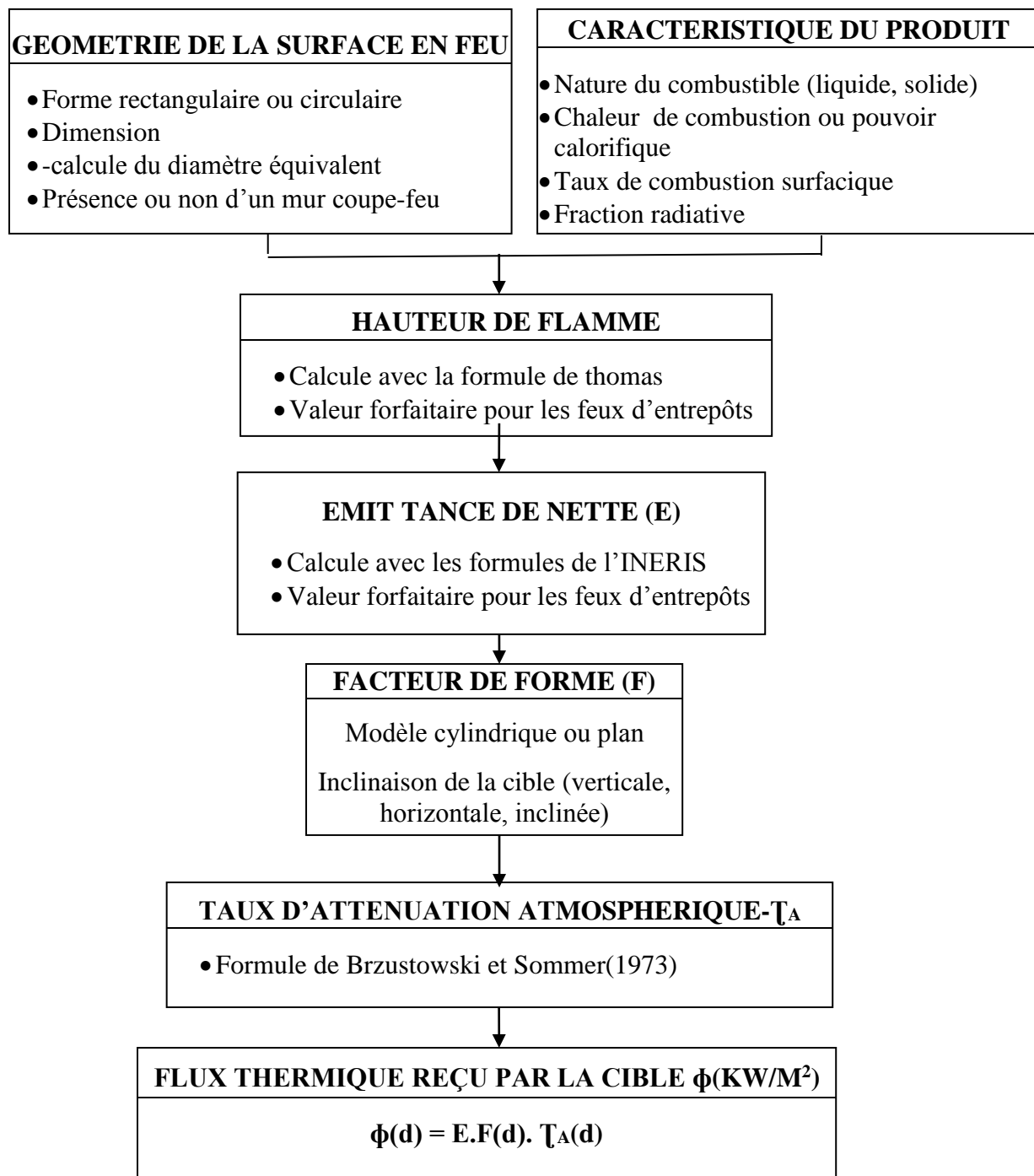
3.2.2.1 Paramètres de calcul

L'évaluation des paramètres à prendre en compte pour l'application du modèle de la flamme solide fait appel à certaines données fournies par la littérature (pouvoir émissif, débit de combustion), ou à des corrélations et des lois empiriques usuelles.

Tab 3.4 : *Données initiales*

Désignation	Caractéristiques	Symbole	Les valeurs
Nappe	Longueur de la nappe	a	5[m]
	Largeur de la nappe	b	2.5[m]
Air	Température ambiante	T_{amb}	21°C
	Masse volumique de l'air	ρ_{air}	1.225[kg/m ³]
	Humidité relative de l'air	HR	18[g/m ³]
	Accélération de la pesanteur	g	9.81[m/s ²]
Combustible	Enthalpie de combustion en	ΔH_C	45.7[kj/kg]
	Enthalpie de vaporisation en	ΔH_V	36[kj/kg]
	Chaleur spécifique du liquide à T_{amb}	c_p	1.2[kj/kg.k]
	Température d'ébullition	T_{eb}	271.5°K
	Distance de la cible par rapport à la source	d	????

Figure 3 3 Paramétrage du facteur de forme pour cylindre droit et cible horizontale



3.2.2.2 Taux de combustion surfacique de la flamme

Le taux de combustion surfacique ou débit massique surfacique de combustion noté \dot{m} , représente la quantité de combustible participant à l'incendie par unité de temps et de surface au sol mesuré dans des conditions d'essai spécifiées. Le débit masse surfacique de combustion s'exprime généralement en $kg/m^2.s$. Ce paramètre peut être évalué selon la corrélation de **BURGESS** par la relation :

$$\dot{m} = \frac{\Delta H_c}{\Delta H_v + c_p (T_{eb} - T_{amb})} 10^{-3} \quad [3.1]$$

Avec :

ΔH_c : Enthalpie de combustion en kJ/kg

ΔH_v : Enthalpie de vaporisation en kJ/kg

c_p : Chaleur spécifique du liquide à T_{amb} en $kJ/kg.K$

T_{eb} : Température d'ébullition en K

T_{amb} : Température ambiante en K

3.2.2.3 Transmissivité atmosphérique τ

La transmissivité atmosphérique τ représente l'absorption de flux thermique par la vapeur d'eau contenue dans l'air. Elle dépend de la distance entre le front de flamme et la cible. Elle est estimée à l'aide de la corrélation de **BAGSTER (1989)** :

$$\tau(d) = 2.02 (p_w \cdot d)^{-0.09} \quad [3.2]$$

Avec :

d : Distance entre le front de flamme et la cible en m

p_w : Pression partielle en N/m^2 de la vapeur d'eau contenue dans l'air à une humidité relative donnée.

$$p_w = (1.013 \times 10^5) \cdot HR \cdot e^{\left(14.4114 - \left(\frac{5328}{T_a}\right)\right)} \quad [3.3]$$

HR : Humidité relative de l'air en %

T_a : Température ambiante

3.2.2.4 Géométrie de la flamme

Afin de déterminer la géométrie de la flamme il est indispensable de déterminer :

- Diamètre équivalent D_{eq} (la surface de la base des flammes)
- Hauteur H_f des flammes
- Longueur L_f des flammes
- Angle θ_f d'inclinaison des flammes

1° Diamètre équivalent D_{eq}

Où D_{eq} est le diamètre équivalent de la nappe en feu en (m). Il est calculé à partir des considérations suivantes:

1. Pour un feu de nappe de forme circulaire:

$$D_{eq} = D_{nappe} \quad [3.4]$$

2. Pour un feu de nappe de forme **rectangulaire**:

- Si $L \leq 2.5 \times l$:

$$D_{eq} = 4 \left(\frac{S}{P} \right) \quad [3.5]$$

- Si $L > 2.5 \times l$:

$$D_{eq} = l \quad [3.6]$$

3. Pour un feu de nappe de forme **quelconque**:

$$D_{eq} = 4 \left(\frac{S}{P} \right) \quad [3.7]$$

où:

S : Surface brute (surface avec bac pour une cuvette) de la nappe en feu en m^2

P : Périmètre de la nappe en feu en m

L : Longueur de la surface en feu en m

l : Largeur de la surface en feu en m

2° Hauteur de flamme H_f

Dans le cas d'un feu de liquide inflammable, la hauteur de flamme H_f peut être approchée par la corrélation de **THOMAS** :

$$H_f = 42 D_{eq} \left[\frac{\dot{m}}{\rho_{air} \sqrt{g D_{eq}}} \right]^{0.61} \quad [3.8]$$

Avec:

H_f : Hauteur de flamme en m

D_{eq} : Diamètre équivalent en m

\dot{m} : Taux de combustion surfacique en kg/m^2s

g : Accélération de la pesanteur, prise égale à $9.81 m/s^2$

ρ_{air} : Masse volumique de l'air, prise égale à $1.61 kg/m^3$

3° Longueur de flamme L_f

Le calcul de la longueur de flamme L_f se fait en utilisant la corrélation de **THOMAS**, avec prise en compte de l'action du vent (vitesse du vent $> 1 m/s$) :

$$L_f = 2.24 D_{eq}^{0.735} \quad [3.9]$$

Avec:

L_f : Longueur de la flamme en m

D_{eq} : Diamètre équivalent en m

4° Angle d'inclinaison de la flamme θ_f

Le calcul de l'angle d'inclinaison θ_f de la flamme se fait en utilisant la corrélation de **WELKER** et **SLIEPCEVICH**

$$\frac{\tan \theta_f}{\cos \theta_f} = 2.05 \times (Fr)^{0.8} \times (Re)^{0.07} \quad [3.10]$$

Avec:

θ : Angle d'inclinaison de la flamme par rapport à la verticale en **Radian**

3.2.2.5 Emissivité E

Le feu étant du à la combustion d'hydrocarbures, l'estimation directe du pouvoir émissif associé à des feux qui produisent des quantités importantes de suies, On utilise la corrélation de MUDAN et CROCE :

$$E = 20 + 120 \times e^{-0.12 \cdot D_{eq}} \left[kW/m^2 \right] \quad [3.10]$$

3.2.2.6 Facteur de forme F

Le facteur de forme F appelé également angle de vue, est l'angle solide sous lequel une cible (Homme ou objet) voit une source rayonnante (La flamme du feu). Il traduit les positions relatives de la source de rayonnement et de la cible. Le facteur de forme est purement géométrique et ne dépend que de la disposition relative des deux surfaces et de leur géométrie respective. Le facteur de forme F est une fonction analytique qui dépend des paramètres suivants :

- la distance d entre la cible et la flamme.
- la hauteur H_f de la flamme,
- la hauteur H_{cible} de la cible,
- l'angle entre la cible et la flamme,

Etant donné que d'une part les dimensions du récepteur sont petites par rapport à celles de la surface des flammes et d'autre part le rayonnement émis par les flammes est indépendant de la direction, facteur de forme représente l'angle solide sous lequel la cible, considérée comme une surface unitaire, voit les flammes. L'application au cas particulier des feux industriels, conduit à définir les formes géométriques pour la source de flamme et pour le récepteur. Tel que:

- **Pour la source de flamme:**

Généralement, la flamme est assimilée à une forme géométrique simple. Il peut être par exemple :

- un cylindre droit dont la base est la surface circulaire de la flaque et la hauteur est estimée par des formules empiriques,
- un polyèdre dont chaque face est un rectangle dont la longueur est l'une des arêtes du polygone de base et sa hauteur est estimée par des formules empiriques.

Pour le récepteur (ou la cible):

La cible étant souvent de petites dimensions par rapport à la surface des flammes. Etant donné par ailleurs que le rayonnement émis par les flammes est indépendant de la direction, il apparaît que le facteur de forme n'est autre que l'angle solide sous lequel la cible, considérée comme une surface unitaire, voit les flammes.

Dans le cas de l'incendie dans le centre d'enfutage NAFTAL-Tiaret, la source de flamme est supposée un cylindre droit de diamètre équivalent D_{eq} et de hauteur de la flamme H_f

(estimée par des formules empiriques). En outre, la cible est considérée comme une surface élémentaire verticale perpendiculaire au sol (**Figure 3.4**).

Le facteur de forme pour une flamme sous forme d'un **cylindre droit** et une cible élémentaire horizontale située au niveau du sol est donnée par la relation analytique proposée par [Raj. et al].

$$F(d) = \left(\frac{I}{\pi}\right) \left[\arctan\left(\frac{\sqrt{(X+1)}}{\sqrt{(X-1)}}\right) - \left(\frac{X^2 - 1 + L^2}{\sqrt{AB}}\right) \arctan\left(\sqrt{\frac{A(X-1)}{B(X+1)}}\right) \right] \quad [3.11]$$

Où:

$$X = \frac{2 \times d}{D_{eq}} \quad [3.12]$$

$$L = \frac{2 \times H_f}{D_{eq}} \quad [3.13]$$

$$A = (X+1)^2 + L^2 \quad [3.14]$$

$$B = (X-1)^2 + L^2 \quad [3.15]$$

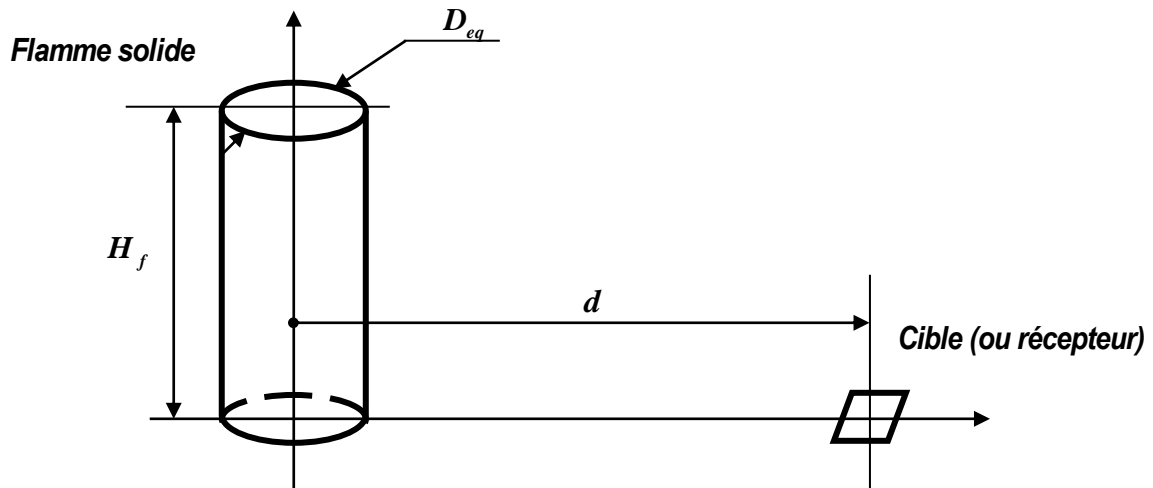


Figure 3 4 Paramétrage du facteur de forme pour cylindre droit et cible horizontale

3.2.2.7 Calcul du flux thermique d'un feu en nappe

Pour le cas de l'incendie de notre simulation il s'agit d'un **feu en nappe** pour lequel on a adopté le modèle de la **flamme solide mono-zone**. Dans ce cas, le flux thermique de la source de chaleur a été évalué par exploitation de la feuille de calcul qui a été développée par l'INERIS

pour caractériser les effets thermiques dus à un feu de cuvette ou de bac d'hydrocarbures liquides (cat. B et C) ou d'alcool. Les grands principes de cette feuille de calcul sont repris dans l'outil "Feux de nappe" mis en ligne par l'INERIS. A noter que l'outil "Feux de nappe" permet de faire varier certains paramètres qui restent fixes dans la feuille de calcul tels que la vitesse du vent, la température ambiante ou encore l'humidité relative. La formule générique du flux thermique émis par un feu de nappe et reçu par une cible située à une distance d du front de flamme est donnée par la relation :

$$\Phi(d) = E \times F(d) \times \tau(d) \quad [3.16]$$

Avec:

Φ : Flux de thermique radiatif reçu par la cible en (kW/m^2)

E : Emissivité (ou flux source) émis par la flamme (kW/m^2)

$F(d)$: Facteur de forme ou facteur de vue (sans dimension).

$\tau(d)$: Transmissivité atmosphérique (sans dimension).

3.2.3. Résultats

Les valeurs du flux de chaleur radiatif émis lors de la combustion d'un hydrocarbure tel que le Butane, sont listées dans le **tableau 3.5**.

TAB 3.5 : Résultats selon la feuille de calcul de l'INERIS

Distance (m)	Emissivité (KW/m ²)	Facteur de forme (ou facteur de vue)	THAU	flux thermique par rayonnement(KW)
2	111,9114	9,55	0,95	1014,177
3	111,9114	4,63	0,91	473,6431
4	111,9114	2,44	0,89	243,4865
5	111,9114	1,39	0,87	135,5953
6	111,9114	0,84	0,86	81,1488
7	111,9114	0,54	0,85	51,6347
8	111,9114	0,37	0,84	34,5684
9	111,9114	0,26	0,83	24,1343
10	111,9114	0,19	0,82	17,4459
11	111,9114	0,14	0,81	12,9835
12	111,9114	0,11	0,81	9,9029
13	111,9114	0,09	0,8	7,7133
14	111,9114	0,07	0,8	6,1175
15	111,9114	0,06	0,79	4,9289
16	111,9114	0,05	0,79	4,0263
17	111,9114	0,04	0,78	3,3293
18	111,9114	0,03	0,78	2,7826
19	111,9114	0,03	0,77	2,3486
20	111,9114	0,02	0,77	1,9994
21	111,9114	0,02	0,77	1,7157
22	111,9114	0,02	0,76	1,4827
23	111,9114	0,02	0,76	1,2897
24	111,9114	0,01	0,76	1,1285
25	111,9114	0,01	0,76	0,9929
26	111,9114	0,01	0,75	0,8781
27	111,9114	0,01	0,75	0,7803
28	111,9114	0,01	0,75	0,6962
29	111,9114	0,01	0,75	0,6237
30	111,9114	0,01	0,74	0,5609
31	111,9114	0,01	0,74	0,5062
32	111,9114	0,01	0,74	0,4583
33	111,9114	0,01	0,74	0,4162
34	111,9114	0	0,74	0,3791
35	111,9114	0	0,73	0,3464
36	111,9114	0	0,73	0,317
37	111,9114	0	0,73	0,2911
38	111,9114	0	0,73	0,2677
39	111,9114	0	0,73	0,2468
40	111,9114	0	0,72	0,228
41	111,9114	0	0,72	0,2112
42	111,9114	0	0,72	0,1959
43	111,9114	0	0,72	0,1819
44	111,9114	0	0,72	0,1693
45	111,9114	0	0,72	0,1579
46	111,9114	0	0,72	0,1475
47	111,9114	0	0,71	0,1379
48	111,9114	0	0,71	0,1291
49	111,9114	0	0,71	0,121
50	111,9114	0	0,71	0,1138

2°.Représentation graphique des résultats

Après avoir obtenu le tableau des valeurs du flux radiatif, la représentation graphique nous permet d'avoir l'allure de la courbe concernant la variation du flux rayonnant en fonction de la distance (**Figure 3.5**).

(m)

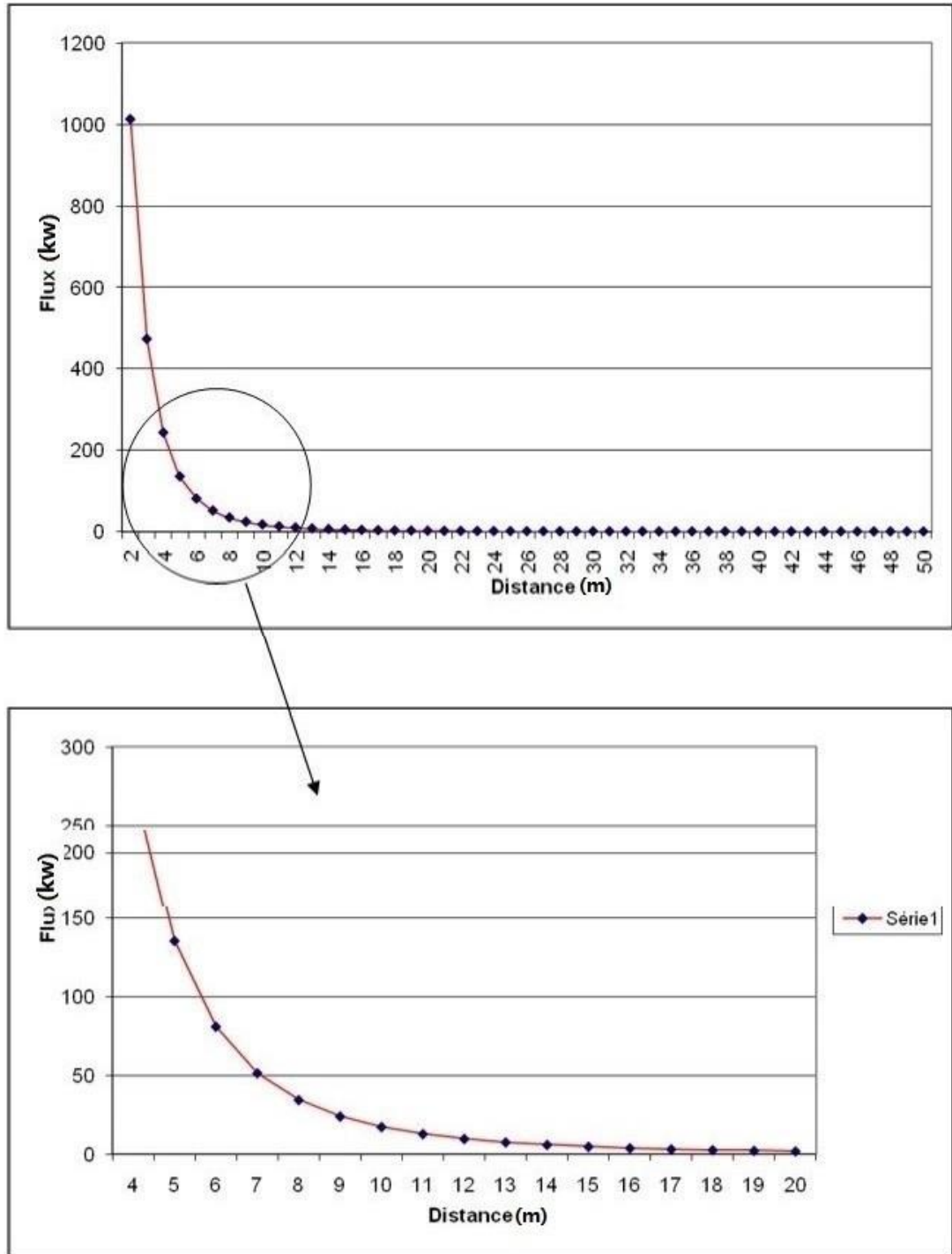


Figure 3 5 : Evolution de flux thermique en fonction de la distance produit BUTANE

La figure 3.5 montre l'évolution du flux thermique radiatif émis lors de l'incendie du butane par la source de la flamme solide. On peut constater que :

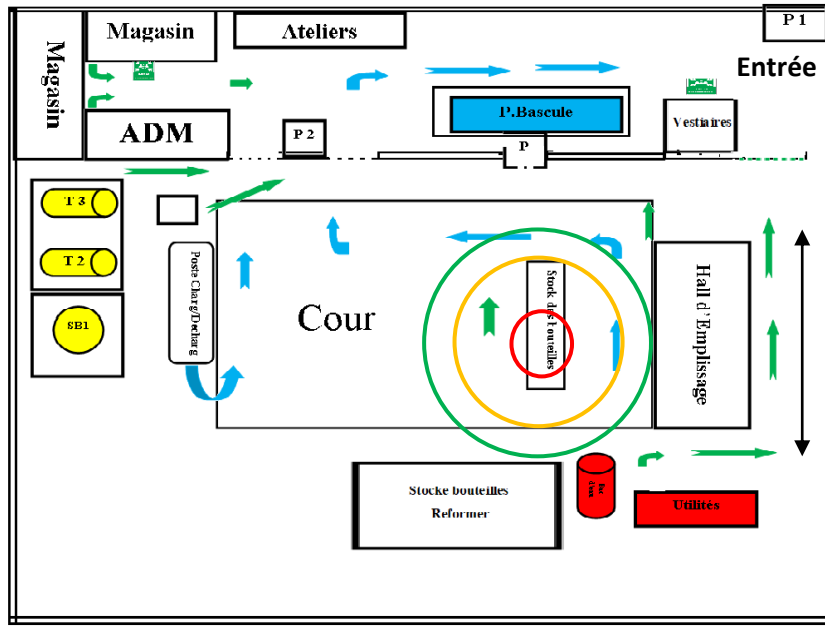
- **dans l'intervalle 2 à 5 m :**
 - La valeur de flux de chaleur décroît rapidement avec une forte pente $\alpha = -89.80^\circ$ On suppose que cela est dû à la corrélation de **MUDAN et CROCE** qui contient un terme négatif en exponentielle. Avec une valeur de **243,4865 kW/m²** à une distance de **4 m**
 - Effets dominos (Seuil à partir duquel les effets domino doivent être examinés)
 - Dégâts graves sur les structures
 - Seuil d'exposition prolongée des structures
 - Dégât très graves sur les structures, hors structures béton
 - Tenue du béton pendant plusieurs heures
 - Dégâts très graves sur les structure béton
 - Effets **irréversibles** sur l'homme (Zone des dangers significatifs pour la vie humaine)
 - Effets **létaux** sur l'homme (Zone des dangers graves pour la vie humaine)
 - Effets **létaux significatifs** sur l'homme (Zone des dangers très grave pour la vie humaine)
 - Ruine du béton en quelques dizaines de minutes
- **dans l'intervalle 6 à 10m :**
 - le flux continue à décroître de façon régulière selon une légère pente $\alpha = -86.40^\circ$.
 - Avec une valeur de **17,4459 kW/m²** à une distance de **10 m**
 - Tenue du béton pendant plusieurs heures
 - Dégâts très graves sur les structure béton
 - Effets **létaux** sur l'homme (dangers très grave pour la vie humaine)
- **dans l'intervalle 11 à 15m :**
 - le flux continue à diminuer avec une faible pente $\alpha = -63.60^\circ$
 - Avec une valeur de **5 kW/m²** à une distance de **15 m**
 - Seuil d'exposition prolongée des structures
 - Dégât très graves sur les structures, hors structures béton,
 - Effets **létaux** sur l'homme (Zone des dangers graves pour la vie humaine)
 - Effets dominos (Seuil à partir duquel les effets domino doivent être examinés)
 - Dégâts graves sur les structures
 - Destruction des vitres significatives
- **dans l'intervalle 16 à 20m :**
 - le flux continue à s'estomper jusqu'à s'annuler a une pente égale $\alpha = -26.90^\circ$

- Avec une valeur de **3,32 kW/m²** à une distance de **17 m**
- Effets **irréversibles** sur l'homme (Zone des dangers significatifs pour la vie humaine)

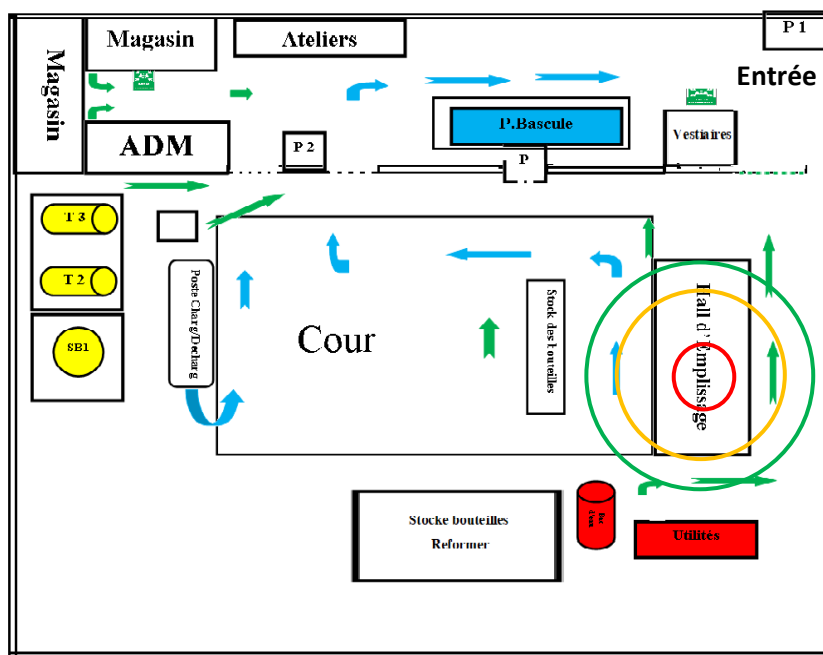
3°. Projection du résultat sur le site

Une fois le flux radiatif évalué en fonction des distances, les zones des effets thermiques sur les personnes et la structure, sont projetée sur le site du centre d'enfûtage de NAFTAL-Tiaret. Cette projection a concerné trois zones à risques d'incendie :

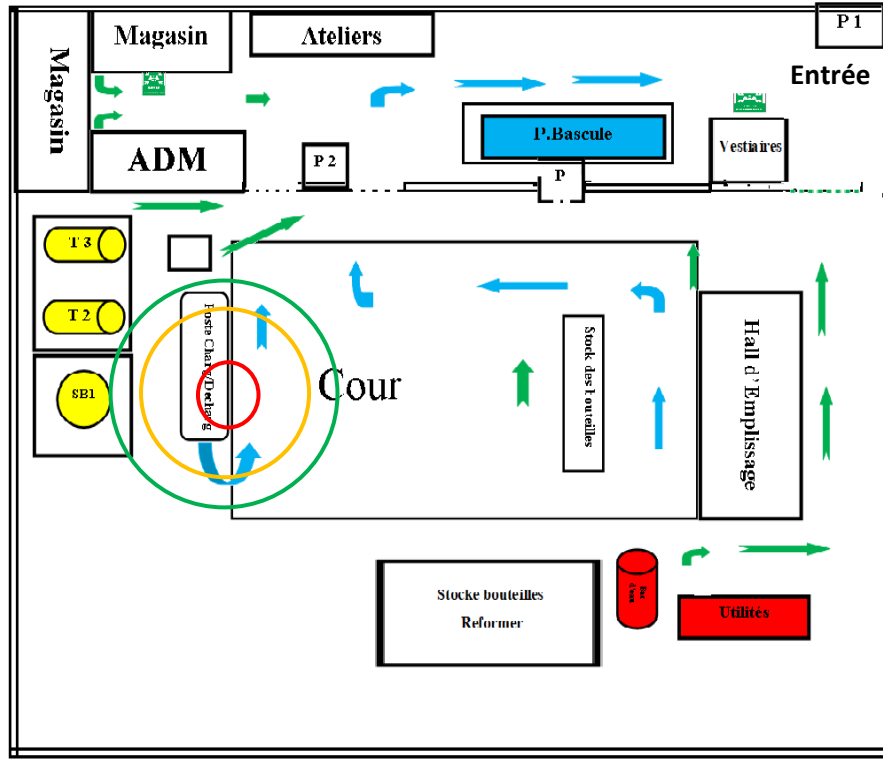
Zone : "Stockage des bouteilles de gaz"



Zone : " Hall de remplissage"



Zone : "dépotage "



3.2.3 Effets de l'incendie sur les cibles

Vu la valeur du flux thermique émis par le rayonnement des flammes du feu, on peut aisément déduire les effets sur une cible (personnes, objet et structures) située aux alentours de la source de chaleur. D'après la loi de STÉPHAN, le flux de chaleur échangé en régime stationnaire établi entre la surface la source de chaleur et la surface extérieure d'une cible est :

$$\Phi = \epsilon \cdot \sigma (T_{source}^4 - T_{cible}^4) \quad [kW/m^2] \quad [3.16]$$

D'où:

$$T_{cible} = \left[T_{source}^4 - \frac{\Phi}{\epsilon \cdot \sigma} \right]^{1/4} \quad [K] \quad [3.17]$$

Avec :

- σ : constante de SPTÉPHAN-BOLTZMANN : $5.67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$
- ϵ : coefficient d'émission de la surface ($\epsilon = 1$ pour un corps noir, $\epsilon \ll 1$ corps brillant)
- T_{source} : température de surface de la source de chaleur en $^{\circ} K$
- T_{cible} : température ambiante en $^{\circ} K$

Dans notre cas, les températures pouvant atteindre les personnes sont données sur le **tableau 3.6.** et celles atteintes par un équipement ou une structure sont données sur **le tableau 3.7**

Tab 3. Détermination de la température de la cible sur les personnes

$\Phi (kW/m^2)$	$d (m)$	$T_{source} (K)$	$\sigma (W/m^2 K^4)$	$\varepsilon (-)$	$T_{cible} (K)$
3	18	2188	5.67×10^{-8}	0.8	2187.99
5	15	//	//	//	//
8	13	//	//	//	//

Tab 3.7 : Détermination de la température de la cible sur les biens

$\Phi (kW/m^2)$	$d (m)$	$T_{source} (K)$	$\sigma (W/m^2 K^4)$	$\varepsilon (-)$	$T_{cible} (K)$
5	15	//	//	0.9	2187.99
8	13	//	//	//	//
16	10	//	//	//	//
20	9	//	//	//	//
200	4	//	//	//	//

CONCLUSION GÉNÉRALE
ET
PERSPECTIVES

CONCLUSION

Au terme de ce mémoire, qui synthétise le projet de fin d'études de notre cursus universitaire au sein du département de génie mécanique de la faculté des sciences appliquées de l'université de Tiaret, le fait de traiter une problématique issue du milieu professionnel et industriel nous a donné l'occasion d'acquérir et de renforcer nos connaissances sur les réalités économiques et techniques du pays. En outre, le thème traité par notre projet de fin d'études nous a facilités en tant qu'étudiant l'intégration progressive dans notre futur cadre de travail.

On peut dire que les objectifs fixés et tracés dans notre plan de travail ont été atteints étant donné qu'on n'a pu dégager la répartition du flux thermique lors d'un incendie dans un centre d'enfutage Naftal-Tiaret. Dans un premier temps on a décrit et analysé les risques liés aux incendies industriels et en particulier ceux qui ont eu lieu dans les centres d'enfutages en milieux ouverts. Dans un deuxième temps, nous avons procédé à la simulation des effets du flux thermique radiatif émis par les flammes de l'incendie. En se basant sur le modèle de la flamme solide, nous avons fait appel à la démarche de l'INERIS qui s'appuie sur un bon nombre de corrélations empiriques pour l'estimation du flux thermique radiatif émis par une source de flamme.

En ce qui concerne les résultats obtenus, notre simulation a fournie en guise de résultats la distribution du flux thermique radiatif en fonction de la distance. En plus, il est à noter que la température d'une cible située à une distance quelconque de la source de flamme a été déterminée pour un état d'équilibre en régime stationnaire

Dans le but de fournir un outil d'aide aux services de sécurité dans la prévision des incendies dans les centres d'enfutages, le résultat de notre travail peut servir comme référence pour effectuer des études de dangers et définir les différentes zones à risques préconisées par les normes.



Bibliographie

Bibliographie

- [1] file:///C:/Users/pc/Downloads/Environnement_Risques_Industriels_02082013.pdf page 2
- [2] <file:///C:/Users/pc/Downloads/28828255.pdf> page 1 et 2
- [3] file:///C:/Users/pc/Downloads/Arcs_Risq%20Industriel.pdf
- [4] <file:///C:/Users/pc/Downloads/CHA6081.pdf>
- [5] file:///C:/Users/pc/Downloads/introduction_risque_industriel_cle7da8c8.pdf
- [6] INERIS, "*Modélisations de feux industriels*", référentiel Ω -2, formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs, rapport d'étude réf. : DRA-14-141478-03176A, 2014.
- [7] DRYSDALE, "*An introduction to fire dynamics*" ; John Wiley & sons, New York, 1985
- [8] M.G. ZABETAKIS(1965) FLAMMABILITY CHARACTERISTICS OF COMBUSTIBLE GASES AND VAPOURS
US Bureau of Mines, Bulletin 627, 1965
- [9] BURGESS, ZABETAKIS Fire and explosion hazards associated with LNG ; US Bureau of Mines, RI 6099, 1962
- [9] BÜRGESS, HERTZBERG Radiation from pool flames ; Heat transfer in flames, ch.27, ed. Afgan and Beer, 1978
- [10] MINZER, EYRE Large scale LNG and LPG pool fire ; Inst.Chem.Eng.Symp.Series 71, p.147-163, 1982
- [11] MUDAN Thermal radiation hazards from hydrocarbon pool fires ; Prog Energy comb. Sci., Vol.10, p.59-80, 1984
- [12] THOMAS The size of flames from natural fires ; 9th international symposium on combustion, p 844-859, 1963
- [13] DRYSDALE An introduction to fire dynamics ; John Wiley & sons, New York, 1985
- [14] BAGSTER, PITBALDO Thermal hazards in the process industry ; Chemical Engineering Progress, 1989

Bibliographie

- [15]**MOORHOUSE Scaling criteria for pool fires derived from large-scale experiments ; Int. Chem. Ing. Sym. Series 71, 1982
- [16]**THOMAS Fire research note 600 ; Fire research station, Borehamwood, England, 1965
- [17]**WELKER, SLIEPCEVICH Fire Technology, 2, 1966
- [18]**MUDAN, CROCE Fire hazards calculations for large open hydrocarbon fires ; SFPE Handbook of fire protection engineering, 1986

ملخص :

إن هذا الكون الكبير معروف بعدة مخاطر عظيمة ومن بينها هناك مخاطر طبيعية وهيا (الزلازل والبراكين والاعاصير) وهناك أيضا مخاطر اخرى وابرزها المخاطر الصناعية التي يتسبب فيها الانسان بالدرجة الاولى ولكي نفصل اكثر عن نوع الخطر الصناعي الذي يقع دائما هو الحريق ومن خلاله يروح ضحيته الكثير من العمال وتدمير هياكل المصنع المتمثلة في (البنيات, الالات ووسائل اخرى...الخ).ومن خلال البحث الذي انجزناه حاولنا ان نجد طريقة للتقليل من خطر الحرائق ونحافظ على سلامة الاشخاص وحماية المصنع من الدمار,وعلى اثر ذلك قمنا بدراسة وهيا المحاكاة المبرمج بتحديد المسافة التي يكون العامل بعيدا وكذلك الهياكل عن بؤرة الحريق او المكان الحساس الذي يشب فيه الحريق وبهذا في الاخير نكون قد حافظنا على المصنع وكل من فيه

Résume :

Ce grand univers est connu pour plusieurs grands dangers, notamment les dangers naturels et les tremblements de terre, les volcans et les ouragans, sans oublier les risques industriels, notamment les risques industriels causés par l'homme.

Afin de séparer davantage du type de danger industriel, qui est toujours le feu et à travers lequel la mort de nombreux travailleurs et la destruction des structures de l'usine (bâtiments, machines et autres moyens ... etc.).

Nous avons essayé de trouver un moyen de réduire les risques d'incendie, de protéger la sécurité des personnes et de protéger la centrale contre toute destruction, puis nous avons étudié et guidé le programmeur de simulation en déterminant la distance à laquelle le travailleur est éloigné, ainsi que les structures, du foyer du feu ou du lieu sensible Nous avons gardé l'usine et tout le monde à l'intérieur

Abstract :

There are also other risks, most notably the industrial hazards caused by man in the first place and in order to séparâtes more from the type of industrial danger, which is always the fire and through which the victim is a lot of Workers and the destruction of the factory structures represented in (buildings, machines and other means ... etc.). Through the research we have done, we tried to find a way to reduce the risk of fire and preserve the safety of people and protect the plant from destruction, The distance that The worker shall be away as well as the structures from the focus of the fire or the sensitive place where the fire is caused, and in the latter we shall have kept the factory and all of it