



UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE

Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du Diplôme de Master en Génie Mécanique
Option : Energétique

**CONTRIBUTION A LA MODELISATION DES EFFETS
THERMIQUES LORS D'UN INCENDIE EN FEU DE NAPPE
« CAS DE LA STATION NAFTAL-CHIFFA »**

Proposé et encadré par :
DR.Benarous Abdallah (USD Blida 1)
MR.Elorabi Moussa (CDS Naftal,Chiffa)

Réalisé par :
BOUGHEZALA HAMAD Rihab
LONGOU Linda

Année universitaire 2019/2020

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions ALLAH notre créateur de nos avoir donné les forces, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.

Nous adressons le grand remerciement à notre Encadreur A.Benarous pour ses conseils et ses dirigés du début à la fin de ce travail : et à notre Co-encadreur M.Elorabi chef du centre carburant Naftal-Chiffa car ce travail n'aurait pas était accompli de cette manière sans sa coopération.

Nous tenons également à remercier messieurs les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance

Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos familles qui nous ont toujours soutenues et à tout ce qui participe de réaliser ce mémoire. Ainsi que l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation.

Dédicaces

Nous dédions ce travail pour tous et chacun :

Aux chères Longou Mahmoud et son épouse Fatih

**Aux chères Boughezala Samad Salah et son épouse
Assia**

**Nul dédicace ne peut exprimer ce que nous vous devons
pour vos sacrifices et votre patience durant nos années
d'études. Ce travail n'est qu'un humble témoignage de notre
grand et éternel amour et de nos infinies reconnaissances.**

A nos frères et sœurs qui ne sont pas moins chers.

En expression de notre grande affection et notre gratitude.

Résumé :

Outre des informations présentes sur le feu et les incendies, le projet porte a une contribution au collage paramétrique de quelques modèles corrélatifs appliquées aux feux des réservoirs de carburants, dans le but de prédire les flux critiques et leurs distances de sécurité.

Abstract:

Besides all the informations presented about fires , the Project has a contribution to the parametric collage of some correlative models applied to the fires of fuel tanks, with the aim of predicting their critical flows and the safety distances.

ملخص

إضافة إلى المعلومات المتعلقة بالنيران والحرائق نركز في هذا المشروع على المساهمة في تجميع معايير لبعض النماذج والعلاقات المطبقة في هندسة الحرائق خاصة على مستوى خزانات الوقود وهذا بهدف التنبؤ بالتدفقات الحرارية ومسافات الأمان المتعلقة بها.

Sommaire :

Remerciement

Dédicace

Résumé

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Nomenclature

INTRODUCTION GENERALE01

CHAPITRE 01 : GENERALITES

1. Introduction	02
1.1. Définitions principales	02
1.2. Effets thermiques	07
1.3. Les carburants	08
1.3.1. Essence	08
1.3.2. Gazole	09
1.4. Les caractéristiques des carburants	09
1.4.1. Les caractéristiques physiques	09
1.4.2. Les caractéristiques chimiques	10
1.4.3. Les caractéristiques physiques de l'essence	11
1.4.4. Les caractéristiques chimiques de l'essence	11
1.4.5. Les caractéristiques physiques du gasoil	11
1.4.6. Les caractéristiques chimiques du gasoil	12
1.5. Les dépôts de carburants liquides	12
1.5.1. Identification des dangers	12
1.5.2. Étude de l'accidentologie dans les établissements similaires	13
1.6. Analyse statistique du retour d'expérience	13
1.6.1. Stockage des hydrocarbures liquides dans des réservoirs à toit fixe	13
a- Typologie des accidents	13
b- Cause des accidents	14

c- Conséquences des accidents	15
1.6.2. Stockage des hydrocarbures liquides dans des réservoirs à toit fixe et à écran flottant	16
a- Typologie des accidents	16
b- Cause des accidents	16
c- Conséquences des accidents	17
d- Circonstances des accidents (pour les différents types de réservoirs).....	17
1.7. Les distances d'effets	18
1.8. L'incendie en dépôts de carburants	18
1.8.1. Les accidents ayant implique des stockages de matières combustibles	18
1.8.2. Les accidents ayant impliqué des liquides inflammables	19
Conclusion	20

CHAPITRE2 : MODELISATION DES EFFETS THERMIQUES

RADIATIFS

2. Introduction	21
2.1. Description du phénomène d'incendie	21
2.2. Modélisation des effets thermiques	24
2.2.1. Modèle pour le pouvoir émissif	24
2.2.1.1. TNO / Yellow Book (1992)	24
2.2.1.2. Mudan et Croce	25
2.2.1.3. Modèle d'IT-89	26
2.3. Modélisation pour la hauteur de flamme	26
2.3.1. Modèle de HESKESTAD	27
2.3.2. Modèle de Thomas	28
a- vent < 1 m/s	28
b- vent > 1 m/s	28
2.3.3. Effets dus aux vents	29
a- Inclinaison de la flamme	29
b- Détermination de la hauteur de flamme	31
2.4. Modélisation pour le facteur de vue	32

a- Facteur de forme	32
b- Le calcul intégral du facteur de vue	33
2.4.1. Cas d'un cylindre droit	34
2.4.2. Cas d'un plan vertical	36
2.4.3. Formule d'IT-89	38
2.5. Modèle pour le facteur d'atténuation atmosphérique	41
2.5.1. La corrélation de Brzustowski et Sommer	42
2.5.2. La corrélation de Lannoy	42
2.5.3. La corrélation de Bagster	42
2.5.4. Corrélation de Wayne	43
Conclusion	44

CHAPITRE 03 : CAS DE LA STATION NAFTAL-CHIFFA- BLIDA

3. Introduction	45
3.1. Présentation du dépôt de carburant NAFTAL	45
3.1.1. Description de l'environnement du site	45
1. Situation géographique	45
2. Historique	46
3. Servitudes.....	46
4. Les inondations	46
5. Données climatiques	46
6. La rose des vents	46
7. Température	47
8. Pluviométrie	47
3.1.2. Description de l'installation	49
1- Identification	49
2- Activités exercées	49
3- Liste des produits stockés et commercialisés	50
4- Description pipe MP 10.....	50
5- Moyens de surveillance et d'intervention de la pipe.....	50
6- Caractéristiques techniques du MP 10.....	50
7- Remplissage camions et des wagons citernes	52

8- Les moyens de protections anti-incendie du poste de chargement wagon (non fonctionnel)	53
9- La Réception du produit	53
10- Stockage des produits	53
11- Transfert des produits	53
3.2. Validation par rapport à un petit bac « 50m ² »	55
3.3. Validation par rapport à un « grand » bac (2400 m ²)	57
3.4. Effet des modèles sur le facteur de vue	60
3.5. Effet des modèles sur le facteur d'atténuation	65
3.5.1. Influence de température	67
3.6. Calculs pour le cas d'un bac Diesel (scénario 1)	69
3.7. Calculs pour le cas d'un bac Essence Super (scénario 2).....	71
3.7.1. Effet de la température	73
3.8. Distribution du flux thermique avec la distance d'effet (scénario 1)	75
3.8.1. Effets de l'humidité relative (RH, modèle de Gammair) sur les distances d'effet	77
3.8.2. Effets de Tair (25°C, 40°C) sur les distances d'effet	79
3.9. Distribution du flux thermique. Vs. Distance d'effet (scénario 2)	82
3.9.1. Effet de l'humidité relative (RH, modèle de Gammair) sur les distances d'effets	84
3.9.2. Effets de Tair (25°C, 40°C) sur les distances d'effet	86
3.10. Confrontation (scénario 1 // scénario 2)	91
Conclusion	94
CONCLUSION GENERALE	95

Listes des figures :

Figure 1.1. Triangle du feu	02
Figure 1.2. Feu de réservoir.....	03
Figure 1.3. Zones de la flamme	04
Figure 1.4. Différents processus d'émission de vapeurs suivant le type de combustion solide	06
Figure 1.5. Typologie des accidents survenus sur des réservoirs à toit fixe	14
Figure 1.6. Cause des accidents survenus sur des réservoirs à toit fixe	15
Figure 1.7. Conséquences des accidents survenus sur des réservoirs à toit fixe	15
Figure 1.8. Typologie des accidents survenus sur des réservoirs à toit fixe et à écran flottant.....	16
Figure 1.9. Causes des accidents survenus sur des réservoirs à toit fixe et à écran flottant...	16
Figure 1.10. Conséquences des accidents survenus sur des réservoirs à toit fixe et à écran flottant.....	17
Figure 1.11. Circonstances des accidents étudiés.....	17
Figure 2.1. Mécanismes de transfert de la chaleur dans la flamme	22
Figure 2.2. Fraction radiative en fonction du diamètre de nappe	25
Figure 2.3. Inclinaison de la flamme sous l'effet du vent	30
Figure 2.4. Schéma général entre une flamme et une cible.....	33
Figure 2.5. Cylindre verticale (surface perpendiculaire au sol)	34
Figure 2.6. Cylindre verticale (surface élémentaire horizontale « parallèle au sol »)	35
Figure 2.7. Surface verticale (parallèle au mur de flamme)	36
Figure 2.8. Surface orienté perpendiculaire au plan (cible horizontale)	36
Figure 2.9. Schéma pour le calcul analytique du facteur de vue	37

Figure 2.10. Schéma explicatif des angles entre la cible et le front de flamme	38
Figure 2.11. Schéma explicatif des angles entre la cible et le front de flamme	38
Figure 2.12. Schéma explicatif des angles entre la cible et le front de flamme	39
Figure 2.13. Schéma explicatif des angles entre la cible et le front de flamme	40
Figure 3.1. Vue satellite du site.....	45
Figure 3.2. Photographie montrant les voies de chemin de fer desservant le CDS Chiffa.....	47
Figure 3.3. Plan de masse.....	48
Figure 3.4. Fonctionnement du centre.....	54
Figure 3.5. Calculs de pouvoir émissif ‘cas avec vent ‘ Afire = 50 m ²	56
Figure 3.6. Calculs de pouvoir émissif ‘cas sans vent ‘ Afire = 50 m ²	57
Figure 3.7. Calculs de pouvoir émissif ‘cas avec vent ‘ Afire = 2400 m ²	59
Figure 3.8. Calculs de pouvoir émissif ‘cas sans vent ‘ Afire = 2400 m ²	59
Figure 3.9. Prédiction de la longueur de flamme.....	60
Figure 3.10. Facteur de vue (modèles : f.cylindrique +f.plane + IT-89) en fonction de la distance.....	61
Figure 3.11. Facteur de vue de corrélations(Cylindrique+Plane) en fonction de la distance..	62
Figure 3.12. Facteur de vue (corrélation plane + Plane modèle)	62
Figure 3.13. Facteur de vue (corrélation cylindrique +modèle cylindrique) en fonction de la distance.....	63
Figure 3.14. Les corrélations de Facteur de vue	64
Figure 3.15. Facteur d’atténuation (modèle de Brzustowski & Sommer) atmosphérique en fonction de la distance, pour RH= 40%, 70%,100 %	65
Figure 3.16. Facteur d’atténuation (modèle de Bagster) atmosphérique en fonction de la distance ‘Rh (40, 70,100) %’	65
Figure 3.17. Facteur d’atténuation atmosphérique (modèle de lannoy) en fonction de la distance ‘RA (18,08,06) g/kg’	66

Figure 3.18. Facteur d'atténuation atmosphérique''Corrélation de Brzustowski and sommer'' '' T _{air} (10, 20, 30,40) C°.....	67
Figure 3.19. Facteur d'atténuation atmosphérique en fonction de la distance ''Corrélation de Bagster'' T _{air} (10, 20, 30,40) C°	68
Figure 3.20. Calculs de pouvoir émissif '' bac de Gasoil, (modèle TNO, Mudan&Croce) ...	69
Figure 3.21. La longueur de flamme pour deux températures limites de T _{air}	70
Figure 3.22. Le pouvoir émissif pour deux températures limites de T _{air}	70
Figure 3.23. Calculs du pouvoir émissif (modèle TNO, Mudan & Croce).....	71
Figure 3.24. Calculs de longueur de flamme ''cas sans vent ''	72
Figure 3.25. Calculs de longueur de flamme ''cas sans vent '' (Modèle TNO, Mudan&Croce.....	72
Figure 3.26. Calculs de longueur de flamme ''cas avec vent '' (Mudan&Croce)	73
Figure 3.27. Pouvoir émissif pour de valeur limites de T _{air}	74
Figure 3.28. Longueur de flamme pour de valeur limites de T _{air}	74
Figure 3.29. Distribution du flux thermique TNO (modèle de flamme cylindrique, corrélation cylindrique, IT-89)	76
Figure 3.30. Distribution du flux thermique Mudan et Croce de (modèle de IT-89, corrélation de falmme cylindrique)	77
Figure 3.31. Effet de RH sur la distance critique pour un flux thermique de 3Kw/ m ²	78
Figure 3.32. Effet de RH sur la distance critique pour un flux thermique de 5Kw/ m ²	78
Figure 3.33. Effet de RH sur la distance critique pour un flux thermique de 8Kw/ m ²	79
Figure 3.34. Effet du facteur de vue sur la distribution du flux thermiques	80
Figure 3.35. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique de 3Kw/ m ²	81
Figure 3.36. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique de 5Kw/ m ²	81

Figure 3.37. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique de 8Kw/ m ²	82
Figure 3.38. Flux thermique (TNO) en fonction de la distance entre la cible et le front de flamme.	83
Figure 3.39. Flux thermique (Mudan et Croce) en fonction de la distance entre la cible et le front de flamme.....	83
Figure 3.40. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique de 3Kw/ m.....	84
Figure 3.41. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique de 5Kw/ m.....	85
Figure 3.42. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique de 8Kw/ m	85
Figure 3.43. Distribution du flux thermique	86
Figure 3.44. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique de 3Kw/ m	87
Figure 3.45. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique de 5Kw/ m	87
Figure 3.46. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique 8Kw/m ²	88
Figure 3.47. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique de 3Kw/m ^{2.2}	89
Figure 3.48. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique de 5Kw/m ²	89
Figure 3.49. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique de 8Kw/m ²	90

Liste des tableaux :

Tableau 3.1. Compositions du parc de stockage	52
Tableau 3.2. Calculs validation par rapport à un « petit » bac (50m ²)	55
Tableau 3.3. Calculs des écarts relatifs	55
Tableau 3.4. Validation par rapport à un « grand » bac (2400 m ²)	57
Tableau 3.5. Calculs des écarts relatif	58
Tableau 3.6. Influence de T _{air} sur le pouvoir émissif	73

LISTES DES ABREVIATIONS :

ARIA : Analyse Recherche et Information sur les Accidents.

AGA : American Gas Association.

API : acronyme de l'anglais Application Programming Interface que l'on traduit en français par interface de programmation applicative.

ASTM : (acronyme de l'anglais American Society for Testing and Materials) est un organisme de normalisation qui rédige et produit des normes techniques concernant les matériaux, les produits, les systèmes et les services.

BLEVE : (acronyme de l'anglais Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) est une vaporisation violente à caractère explosif consécutive à la rupture d'un réservoir contenant un liquide à une température significativement supérieure à sa température d'ébullition à la pression atmosphérique.

BARPI : Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels.

CST : Centistokes.

CDS : Centre de Distribution et de Stockage.

COVID-19 : CoronaVirus Disease 2019.

CA : Carburant Auto

ESS : Essence.

FDS : Fiche de Données de Sécurité.

FVUE : Facteur de Vue.

Fizéro : Pouvoir émissif en $r=0$.

GTDLI : Groupe de Travail Dépôt de Liquides Inflammables.

GO : Gasoil.

INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques.

IT-89 : Instrument Titanium Calculators.

JP-5 : (acronyme de l'anglais Jet Propellant) est un carburants pour avion .

Lflamme : Longueur de flamme.

MTBE : Léthyl Tert-Butyl Ether (composé organique de formule $CH_3 OC(CH_3)_3$).

NAFTAL : Entreprise Nationale de commercialisation et de distribution des produits pétroliers.

PI : Point Initial.

PF : Point Final.

PV : Procès-Verbal.

RPA : le Règlement Parasismique Algérien.

RA1G : Raffinerie d'Alger est rattachée à la société nationale de raffinage du pétrole (groupe Sonatrach).

SONATRACH : acronyme de Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures.

S.C.A : **Super** Carburant Auto.

TNO : The Netherlands Organizations of Applied Scientific Resarch.

TVR : La Tension de Vapeur Reid.

Nomenclature :

Afire : Surface du bac	[m ²]
b : Longueur ou largeur de la surface en feu	[m]
Cp_0 : Capacité calorifique du gaz de référence (air)	[J/ kg.K]
Deq : Diamètre équivalent de la surface en feu	[m]
d : Distance de la cible à la source	[m]
d : Distance de la cible à la source	[m]
F(r) : Facteur de vue	sans dimension
Fh : Facteur de vue horizontal (-)	sans dimension
Fv : Facteur de vue vertical (-)	sans dimension
FR : Fraction radiative	sans dimension
Fr : Nombre de Froude	sans dimension
g : L'accélération de la pesanteur (9,81 m/s ²)	[m/s ²]
H : Hauteur de flamme	[m]
K : Longueur du côté d'une cuvette carrée de même surface que la surface examinée	[m]
L : Longueur ou hauteur de flamme	[m]
m'' : Débit massique de combustion par unité de surface en feu	[kg/ m ² /s]
m' : Débit de combustion ($m' = m'' \times$ Surface de combustible au sol) [kg/s]	
$P_{VAP5H2O}$) : Pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air	[Pa]
Q : Puissance dégagée par la combustion	[kw]
r : Distance entre la cible et le front de flamme (formule de it-89)	[m]
r^s : Rapport stœchiométrique air/combustible.	
RH : Taux d'humidité relative de l'air	[%]
S : Surface en feu	[m ²]
S : Coefficient expérimental égal à 0,12	[m ⁻¹]
T : La température	[C°]
T_f : Température de flamme	[C°]

T_0 : Température de l'air	[C°]
T_a : Température ambiante	[C°]
u_w : La vitesse du vent	[m/s]
u^* : Vitesse adimensionnelle du vent	[m/s]
u_c : Vitesse caractéristique	[m/s]
u_{10}^* : Vitesse adimensionnelle du vent à 10 m d'altitude.	[m/s]
ν : Viscosité cinématique de l'air	[m ² .s]
v : Vitesse de régression de la nappe	[m/s]
W ou RA : Humidité absolue de l'atmosphère ambiante (g/kg d'air sec)	[g vapeur d'eau/kg air sec]
\emptyset : Flux thermique	[kW/m ²]
\emptyset_{max} : Pouvoir émissif d'une flamme sans fumées noires	[kW/m ²]
\emptyset_{soot} : Pouvoir émissif des fumées (20 000 W/m ² pour T= 800K)	[kW/m ²]
$\emptyset_{fumées}$: Pouvoir émissif des fumées (20 kW/m ²)	[kW/m ²]
ζ : Pourcentage du flux absorbé par les fumées noires	[%]
$\Gamma(r)$: Transmissivité atmosphérique	sans dimension
Δhc : Chaleur de combustion du produit	[J/kg]
ρ : Masse volumique du combustible	[Kg/m ³]
ρ_{air} : La masse volumique de l'air ambiant	[Kg/m ³]
ρ_g : Masse volumique des vapeurs de combustibles à la température d'ébullition (pression atmosphérique)	[Kg/m ³]
$\Delta\Psi$: Ecart relatifs	[%]
η_{comb} : Rendement de combustion	[%]

INTRODUCTION GENERALE

La prédiction des flux thermiques émanant des foyers d'incendie est plus que nécessaire dans les stratégies de la sécurité incendie. Spécifiquement, ces flux sont particulièrement critiques dans le cas des feux de bac de carburants, où leurs niveaux peuvent induire des inflammations dans les dépôts voisins et altérer la sécurité du personnel d'intervention.

L'étude dans ce mémoire est de chercher des méthodes qui pourraient nous aider à faire une modélisation des effets thermiques lors d'un incendie en feu de nappe, tout en offrant des outils de prédiction pour ces flux. Le Cas de la station NAFTAL-Chiffa, Blida est pris comme cas d'étude.

Pour plus de précision par rapport aux résultats des modèles de corrélation, le projet avait pour vision que les analyses prédictives devraient être complétées par une partie simulation avec le code FDS (Fire Dynamic Simulator), pour inclure la turbulence des flammes et la diffusion turbulente la température, sauf qu'en raison de contraintes temporelles, nous avons décidé de laissé cette partie pour un autre projet de fin d'étude.

L'objectif de ce travail est d'appliquer les corrélations dédiées aux feux des réservoirs des carburants liquides, afin de déterminer les différentes caractéristiques (flux thermique, longueur de flamme, inclinaison de flamme, distances critiques...).

Le mémoire est structuré en trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré aux généralités des feux et incendies.
- Le deuxième chapitre décrit les différentes corrélations utilisées pour la modélisation des effets thermiques.
- Le troisième chapitre est le plus important, décrit l'ensemble des résultats que nous avons obtenus et leurs discussion en comparant aux données GTDLI , avec différentes paramétrisations associées à deux types de carburant (Gasoil & Essence).

CHAPITRE 01 : Généralités

1. Introduction:

Dans le premier chapitre on va décrire les feux et les incendies en parlant des effets thermiques sur l'homme et des effets thermiques sur les structures, en passant aux carburants et leurs caractéristiques.

En va voir aussi :

- Les informations concernant les dépôts de carburants
- Les études de danger et les démarches d'évaluation des dangers liés à l'incendie,
- Les distances d'effets.
- L'incendie en dépôt de carburants

1.1. Définitions principales :

- **Feu :**

Dégagement simultané de chaleur, de lumière et de flamme produit par la combustion vive de certains corps (bois, charbon, etc.).

- **Triangle du feu :**

Pour qu'il y ait un feu, il est nécessaire de trouver les trois composantes du triangle du feu : combustible, comburant et énergie.



Figure 1.1. Triangle du feu [1].

CHAPITRE 01 : Généralités

- **Feu de nappe :**

Feu de nappe ou feu de flaque, décrit un incendie résultant de la combustion d'une nappe de combustible liquide en atmosphère libre. Ce phénomène implique principalement la surface de la nappe en contact avec l'air. Les dimensions et la géométrie de la nappe peuvent être tout à fait variables. Il convient ainsi de distinguer :

- Les feux de réservoir : le feu est alors contenu dans une enceinte dont la surface est déterminée par les dimensions du réservoir.
- Les feux de cuvette (de rétention) : l'extension de la nappe peut alors être limitée par une cuvette de rétention dont le dimensionnement est imposé notamment par les exigences réglementaires applicables au stockage.
- Les feux de flaque libre : en l'absence de moyens physiques prévus pour limiter l'extension de la nappe ou lorsque la cuvette de rétention n'est pas complètement envahie ; l'extension de la nappe est alors principalement fonction des caractéristiques du terrain, des conditions météorologiques et des conditions de rejet du combustible.

La formation d'une nappe au sol peut être observée suite à l'épandage d'une substance liquide ou à la fusion de corps solides susceptibles de se liquéfier sous l'effet de la chaleur (ex. certains plastiques, bitumes..).



Figure 1.2. Feu de réservoir [1].

CHAPITRE 01 : Généralités

- **Flamme :**

Une zone de combustion en phase gazeuse généralement avec émission de lumière.

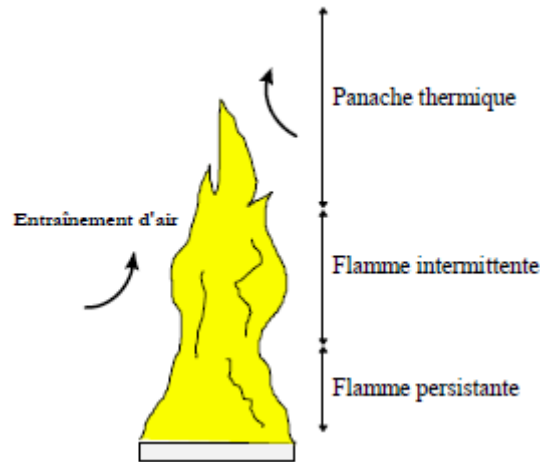


Figure 1.3. Zones de la flamme [1].

- **Inflammation :**

Première apparition de flammes. Action de provoquer une combustion avec flammes.

- **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, d'énergie d'inflammation pour que le mélange soit le plus susceptible de s'enflammer. 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 à celle nécessaire à la vaporisation d'un liquide.

- **Incendie :**

Une combustion autoentretenue qui se développe sans contrôle dans le temps et dans l'espace.

- **Réaction au feu :**

CHAPITRE 01 : Généralités

Un comportement d'un matériau qui, par sa propre décomposition, alimente un feu auquel il est exposé, dans des conditions spécifiées.

- **Combustion :**

Une réaction exothermique d'une substance avec un comburant. La combustion émet généralement des effluents accompagnés de flammes et/ou d'incandescence.

- **Processus de combustion :**

Rappelons au préalable que pour les feux industriels, quel que soit l'état du combustible en présence, la combustion se fait à l'état gazeux. Pour notre travail, la description du phénomène sera limitée au seul cas de combustible solide.

- **Combustible :**

Un susceptible de brûler. Objet pouvant brûler.

- **Les combustibles liquides :**

La combustion des produits liquides (par ex. les hydrocarbures) intéresse les vapeurs émises par le produit réchauffé et non le liquide lui-même. De manière schématique, le combustible émet une certaine quantité de vapeurs à une température donnée. 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.

Lorsque le mélange air-combustible se trouve dans le domaine d'inflammabilité et en présence d'une source d'inflammation, il s'enflamme.

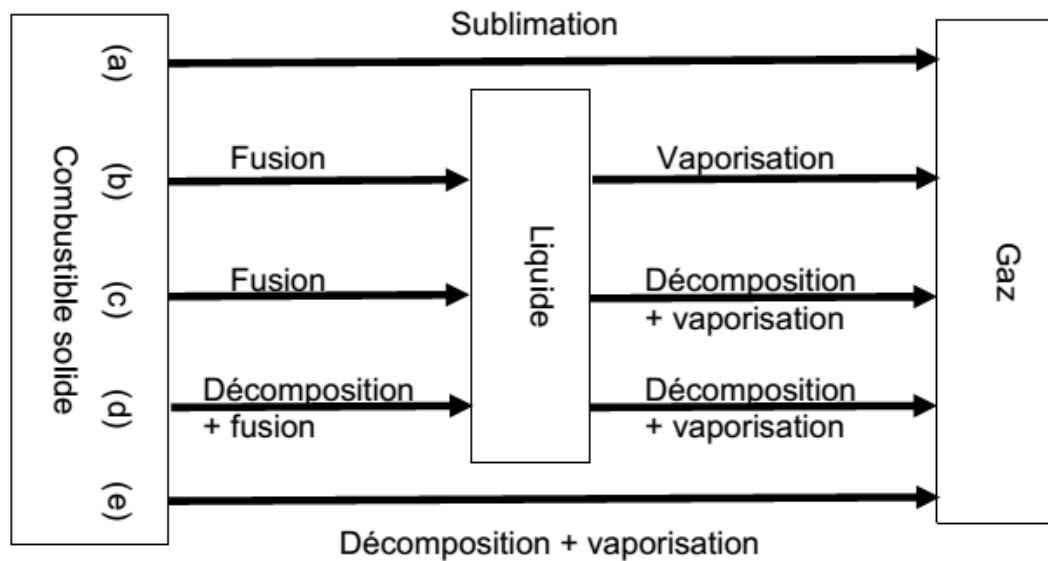
Les gaz brûlés sont ensuite évacués vers le haut sous l'effet de la poussée d'Archimède tout en continuant à entraîner l'air ambiant. L'essentiel de l'air entraîne (environ 90%) depuis la base de la flamme jusqu'à son sommet dilue les produits de la combustion tout en refroidissant.

- **Les combustibles solides :**

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, de fusion et éventuellement de sublimation comme le montre le schéma.

CHAPITRE 01 : Généralités



Exemple : (a) : allume feux ; (b) : cires, métaux ; (c) : résines thermo-plastiques ; (d) : polyuréthane ; (e) : cellulose, résines thermo-durcissables.

Figure 1.4. Différents processus d'émission de vapeurs suivant le type de combustion solide [2].

- **Chaleur de combustion :**

Energie thermique dégagée par la combustion d'une unité de masse d'une substance donnée. Elle est exprimée en joules par kilogrammes (J/kg)

- **Débit masse surfacique de combustion :**

Quantité de combustible participant à l'incendie par unité de temps et de surface au sol mesurée dans des conditions d'essai spécifiées. Le débit masse surfacique de combustion s'exprime généralement en $g / (m^2.s)$.

- **Chaleur spécifique :**

La chaleur spécifique, ou bien chaleur massique d'échauffement, d'un corps correspond à la quantité d'énergie absorbée par 1 kg de ce corps pour que sa température s'élève de 1 K. Cette grandeur s'exprime ainsi généralement en $J / (kg.K)$

CHAPITRE 01 : Généralités

- **Potentiel calorifique inférieur (PCI) :**

Chaleur de combustion d'une substance lorsque la combustion est complète et que l'eau produite reste à l'état de vapeur dans des conditions spécifiées.

- **Potentiel calorifique supérieur (PCS) :**

Chaleur de combustion d'une substance lorsque la combustion est complète et que l'eau produite est entièrement condensée, dans des conditions spécifiées.

1.2. Effets thermiques :

D'une manière tout à fait générale, afin d'estimer les effets d'un phénomène physique dangereux sur l'homme ou l'environnement, il est nécessaire d'évaluer à la fois :

L'intensité des conséquences du phénomène. Cette intensité peut par exemple s'exprimer en terme de concentration (ppm) pour ce qui concerne la dispersion de gaz toxiques ou de densité de flux thermiques pour des phénomènes de combustion (incendie, BLEVE...), la durée d'exposition, soit le temps pendant lequel la cible est exposé aux conséquences du phénomène dangereux, ces deux paramètres définissent ainsi la notion de dose, qui relie les effets d'un accident à une fonction de l'intensité des conséquences du phénomène et de la durée d'exposition.

A priori, dans le cas d'un feu industriel, la cible peut être exposée à des flux thermiques radiatifs pendant toute la durée de l'incendie. C'est pourquoi, pour l'évaluation des effets d'un phénomène aussi long dans le temps, la durée d'exposition n'est pas prise en compte et il faut s'appuyer alors sur les seuils d'effet définis dans la réglementation dans l'arrêté du 29 septembre 2005 qui sont :

Pour les effets sur l'homme :

- 3 kW/m², seuil des effets irréversibles délimitant la « zone des dangers significatifs pour la vie humaine » ;
- 5 kW/m², seuil des effets létaux délimitant la « zone des dangers graves pour la vie humaine » mentionnée à l'article L. 515-16 du code de l'environnement ;
- 8 kW/m², seuil des effets létaux significatifs délimitant la « zone des dangers très graves pour la vie humaine » mentionnée à l'article L. 515-16 du code de l'environnement.

Pour les effets sur les structures :

- 5 kW/m², seuil des destructions de vitres significatives ;

CHAPITRE 01 : Généralités

- 8 kW/m², seuil des effets domino₁ et correspondant au seuil de dégâts graves sur les structures ;
- 16 kW/m², seuil d'exposition prolongée des structures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton ;
- 20 kW/m², seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton ;
- 200 kW/m², seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes.

Un feu industriel peut donner lieu à des effets sur les structures dans la mesure où sa durée peut être plus ou moins prolongée (de quelques minutes à plusieurs heures en général).

1.3. Les carburants :

1.3.1. Essence :

L'essence auto est une huile légère d'hydrocarbure utilisée comme carburant dans les moteurs à allumage commandé. Sa température de distillation se situe entre 35 et 200 °C, cette huile est traitée de manière à atteindre un indice d'octane élevé, généralement entre 80 et 100 IOR. Ce traitement peut s'effectuer par reformage, craquage catalytique et mélange avec une fraction aromatique. Il existe donc trois types d'essences sont :

- **Essence ordinaire** est composée essentiellement d'un mélange d'hydrocarbures de structures variées (paraffiniques, oléfiniques, naphthéniques, aromatiques (~ 4 % de benzène)) distillant à moins de 205 °C, auquel est ajouté entre autres un dope antidétonant à base de plomb. L'efficacité de la combustion est caractérisée par l'indice d'octane situé entre 89 et 92.
- Le **super** est de même nature que l'essence ordinaire, mais obtenu par un procédé de raffinage spécial afin d'améliorer l'indice d'octane qui est de 97 à 99. Sa composition diffère de l'essence par : la teneur en benzène plus élevée (4 à 6 %) due à la diminution du taux de plomb ; la teneur en soufre plus élevée (0,5 %).
- Le **super sans plomb** a totalement supplanté le super avec plomb. Les additifs utilisés sont le MTBE (méthyltertiobutyléther), additif le plus employé, et le benzène, ajouté en vue d'améliorer l'indice d'octane.

CHAPITRE 01 : Généralités

1.3.2. Gazole :

Le gazole doit présenter, à l'inverse des essences, une forte tendance à l'auto inflammation puisque le principe de fonctionnement du moteur Diesel repose sur l'inflammation du carburant injecté sous haute pression dans l'air préalablement comprimé. La qualité du gazole s'exprime ainsi par l'indice de cétane qui n'influe pas directement sur les performances du moteur mais agit plutôt sur l'agrément d'utilisation (démarrage à froid, bruit, émissions de polluants, etc.).

Une autre caractéristique essentielle du gazole est sa tenue au froid puisque la formation en son sein de cristaux de paraffine, à des températures hivernales (0 à - 20 °C), risquerait d'obstruer le filtre disposé sur le circuit d'alimentation.

Le raffineur ajuste l'indice de cétane et les caractéristiques à froid du gazole en agissant sur la nature et la composition des bases constitutives et en incorporant certains additifs fluidifiants ou procétane. Dans ce domaine également, l'optimisation est actuellement rendue difficile en raison de la forte diésélisation du parc automobile et de la nouvelle structure du raffinage fournissant des distillats moyens de qualité médiocre.

1.4. Les caractéristiques des carburants :

1.4.1. Les caractéristiques physiques :

La densité à 15 °C :

La densité à 15 °C est considérée comme étant un indicateur important de la qualité pour l'industrie automobile, où il affecte stockage, la manutention et la combustion. Elle est le rapport entre la masse volumique du produit à 15 °C et celle de l'eau à 4 °C, en effet, la masse volumique de l'eau est égal à 1, c'est-à-dire que 1 litre d'eau à cette température pèse 1 Kg.

La distillation ASTM :

Cette méthode s'applique qu'aux produits blancs distillés à pression atmosphérique dont les températures d'ébullition s'étendent de 0 à 400 °C, elle caractérise la volatilité du produit. Et à partir des températures obtenues en fonction des volumes recueillis dans un appareillage approprié à la norme ASTM D 86, qu'on peut tracer la courbe de distillation qui représente l'évolution de la fraction distillée. Le plus souvent, on définit sur cette courbe quelques repères : PI, PF et les fractions distillées en pourcentage (volume) à une température donnée.

CHAPITRE 01 : Généralités

La pression de vapeur Reid :

La pression de vapeur Reid (TVR) indique d'une manière indirecte, la teneur en constituants très légers qui conditionnent la sécurité au cours du transport, les pertes au stockage et la volatilité des essences. Elle correspond à la pression relative développée par les vapeurs issues d'un échantillon de carburant disposé dans une bombe normalisée à la température de 37,8°C.

La viscosité cinématique à 20°C :

La viscosité cinématique caractérise la résistance qu'apportent les molécules à une force tendant à les déplacer les unes par rapport aux autres. Elle est définie comme le rapport de la viscosité absolue à la densité mesurée à la même température. Et son unité est exprimée en centistokes.

Le point d'écoulement :

Le point d'écoulement est la température la plus basse à laquelle, dans des conditions normalisées, le carburant continue à s'écouler. Il est utilisé comme indicateur pour déterminer s'il est possible de pomper le carburant dans le moteur, même s'il ne peut être utilisé sans le réchauffer ou sans prendre d'autres mesures.

1.4.2. Les caractéristiques chimiques :

L'indice de cétane calculé :

L'indice de cétane mesure l'aptitude des carburants Diesel à s'auto-enflammer dans une chambre de combustion de moteur à allumage par compression, il caractérise le délai d'auto-inflammation du gazole.

Le point éclair en vase clos :

Le point éclair est la température la plus basse à partir de laquelle un produit pétrolier dégage assez de vapeurs pour former un mélange inflammable dans des conditions normalisées.

La teneur en eau :

L'apparition de l'eau dans les gasoils provient par des phénomènes de condensation lors des différentes phases de stockage en présence d'air et réservoir en métal léger, et ces derniers favorisent la formation d'émulsions dans le carburant. Elle est souvent exprimée en % du volume.

La corrosion à la lame de cuivre :

CHAPITRE 01 : Généralités

La corrosion à la lame de cuivre est utilisée comme une épreuve pour déterminer l'apparition des composés soufrés en utilisant le cuivre étant particulièrement sensible à la présence de ces composés corrosifs.

1.4.3. Les caractéristiques physiques de l'essence :

- **La densité à 15°C** : de 0.730 à 0.770
- **La tension de vapeur Reid** : 0.650 b
- **La distillation** : à 10% (70°C)
à 50% (140°C)
à 95% (195°C)

1.4.4. Les caractéristiques chimiques de l'essence :

- **La corrosion à la lame de cuivre** : 1b
- **Teneur en plomb** : 0.40 g/l
- **PCI m** : 42.7 (MJ/kg)
- **PCI v** : 32.2 (MJ/L)

1.4.5. Les caractéristiques physiques du gasoil :

- **La densité à 15°C** : de 0.810 à 0.860
- **La distillation** : à 65% (250°C)
à 90% (350°C)
- **la viscosité cinématique à 20 °C** : 9
- **Point écoulement** : -Hiver -12°C
-Eté -7°C

1.4.6. Les caractéristiques chimiques du gasoil :

- **Indice de cétane** : 48
- **Point éclair** : 55°C
- **PCI m** : 42.6 (MJ/kg)
- **PCI v** : 35.8 (MJ/L)

1.5. Les dépôts de carburants liquides :

Dans l'industrie pétrolière, les dépôts de carburants sont des entrepôts de stockage de bruts ou des hydrocarbures liquides : essences, kérosène, gazole et fioul.

CHAPITRE 01 : Généralités

Dépendant de l'importance du trafic régional ou local, ces dépôts sont de tailles différentes et tous les dépôts ne stockent pas forcément tous les produits.

On peut dire que les activités des dépôts sont :

- La Réception des produits par (canalisation ; wagon citerne ; navire / barge).
- Le stockage des produits reçus.
- Le chargement des produits pétroliers dans des camions citernes.

1.5.1. Identification des dangers :

- **Incendie** : est un feu non maîtrisé, ni dans le temps, ni dans l'espace. La caractéristique d'un incendie est de pouvoir s'étendre rapidement et occasionner des dégâts généralement importants.
- **Boil over** : Le terme de boil over est attribué à un événement survenant lors d'un incendie de certains hydrocarbures contenus dans un réservoir à ciel ouvert, lorsqu'une soudaine augmentation de l'intensité du feu [de réservoir] est observée, accompagnée de l'expulsion de l'hydrocarbure hors du réservoir, après une longue période de combustion régulière [de l'hydrocarbure]. Le boil over a lieu lorsque les résidus de combustion, issus de la surface en feu, deviennent plus denses que les hydrocarbures non brûlés et sombrent formant une couche chaude qui progresse vers le fond plus rapidement que la régression de la surface de liquide. Lorsque cette couche chaude, également appelée onde de chaleur, atteint l'eau ou une émulsion d'eau dans l'hydrocarbure située en fond de bac, l'eau est d'abord surchauffée, puis portée à ébullition de façon quasi explosive entraînant le débordement du bac.
- **Explosion** : est une augmentation rapide de volume et une libération d'énergie, généralement avec génération de hautes températures et de gaz.

1.5.2. Étude de l'accidentologie dans les établissements similaires :

L'étude de l'accidentologie est souvent très riche en enseignement et permet d'étayer l'analyse des risques.

Elle fournit notamment de nombreuses informations sur :

- La nature des événements pouvant conduire à la libération des potentiels de dangers.

CHAPITRE 01 : Généralités

- La pertinence des barrières de sécurité qui peuvent prévenir, détecter ou contrôler l'apparition d'un phénomène dangereux ou en réduire les conséquences.
- Les conséquences potentielles d'un événement redouté.

Les paragraphes ci-dessous sont établis en fonction des données disponibles sur les circonstances, origines et conséquences des accidents impliquant les unités d'hydrocarbures. Ils présentent les principaux enseignements tirés de leur analyse.

Ces accidents sont ceux enregistrés dans la base de données "Analyse Recherche et Information sur les Accidents" (ARIA) gérée par la Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable Français

Cette base recense les événements accidentels qui ont, ou qui auraient pu, porter atteinte à la santé ou la sécurité publique, l'agriculture, la nature et l'environnement.

1.6. Analyse statistique du retour d'expérience :

1.6.1. Stockage des hydrocarbures liquides dans des réservoirs à toit fixe :

a- Typologie des accidents :

La typologie des événements répertoriés sur les réservoirs de stockage d'hydrocarbures à toit fixe est établie dans la figure suivante.

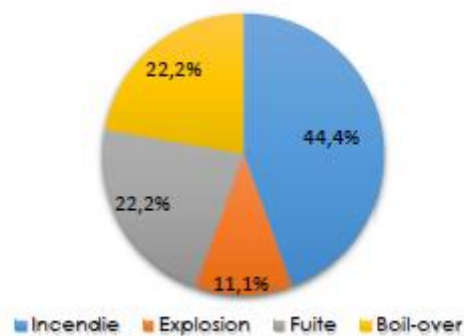


Figure 1.5. Typologie des accidents survenus sur des réservoirs à toit fixe [3].

- Incendie : Les incendies représentent 44,4% des accidents recensés dans la base ARIA. C'est la typologie la plus rencontrée. Si l'incendie n'est pas rapidement maîtrisé, il est généralement suivi d'explosions.

CHAPITRE 01 : Généralités

- Boil-over : le boil-over est présent dans 22,2 % des accidents étudiés et dont la cause est inconnue.
- Fuite : Cette typologie représente 22,2 % des accidents recensés. Elle comporte des fuites de d'hydrocarbure suivie par des rejets dans le sol.
- Explosion : Les explosions représentent 11,1 % des accidents recensés dans la base ARIA. Elles touchent essentiellement les installations de stockage d'hydrocarbures suite à un incendie non maîtrisé ou suite à un défaut de manipulation (défaillances matérielles ou erreurs humaines).

b- Cause des accidents :

L'analyse des causes des accidents qui est l'un des principaux objectifs du retour d'expérience, est aussi l'un des paramètres les plus difficiles à appréhender en l'absence d'expertise détaillée. Le « facteur humain et organisationnel » prime dans plus de la moitié des accidents impliquant la conception, l'exploitation ou la maintenance des installations.

L'erreur humaine représente la cause essentielle des accidents recensés avec 33,3 % des cas. La défaillance matérielle représente 22,2 %, les agressions externes représentent 22,2% des causes des accidents survenus et 22 % des accidents ont des causes inconnues.

Deux cas sont dus à des défaillances matérielles (travaux de soudure au voisinage immédiat des bacs de stockage et en présence d'une atmosphère explosive, une étincelle produite par des travaux de maintenance, entretien insuffisant...). Deux (2) cas d'agression externe ont été clairement soulevés et qui sont dus aux facteurs climatiques : orage violent, foudre... Ainsi, seul deux (2) cas ont des causes inconnues.

La répartition des accidents selon leurs causes est présentée dans la figure suivante :

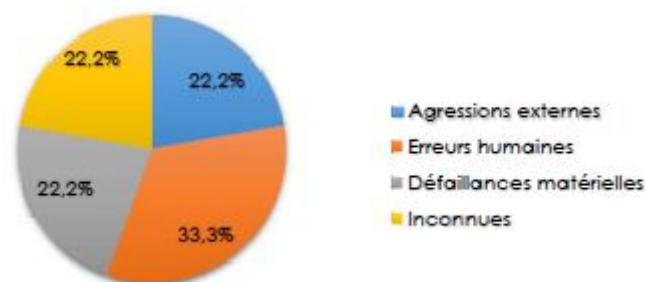


Figure 1.6. Causes des accidents survenus sur des réservoirs à toit fixe [3].

CHAPITRE 01 : Généralités

c- Conséquences des accidents :

Les accidents recensés ont révélé que les conséquences les plus fréquentes sont les dommages matériels (58,3 %) correspondant généralement à des dommages au niveau des réservoirs et des pertes du produit stocké. La pollution est la deuxième conséquence recensée (25%) et elle correspond à une infiltration des hydrocarbures dans le sol et à la contamination des eaux souterraines.

Pour les conséquences humaines, on dénombre 16,7% accidents parmi les accidents étudiés.

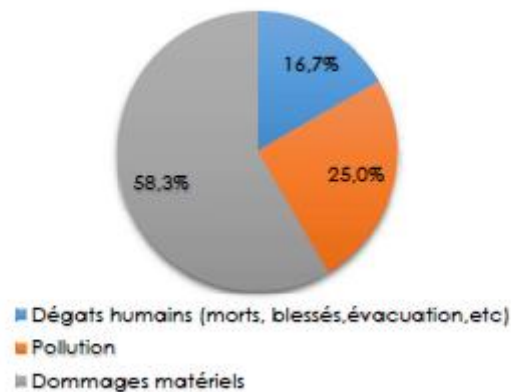


Figure 1.7. Conséquences des accidents survenus sur des réservoirs à toit fixe [3].

1.6.2. Stockage des hydrocarbures liquides dans des réservoirs à toit fixe et à écran flottant :

a- Typologie des accidents :

La typologie des événements répertoriés sur les réservoirs d'hydrocarbures liquides à toit flottant est établie dans la figure suivante.

L'analyse statistique des accidents survenus concerne un échantillon de 15 événements dont 40% sont des accidents liés à des incendies et des fuites d'hydrocarbures et 20 % liés à des explosions.

CHAPITRE 01 : Généralités

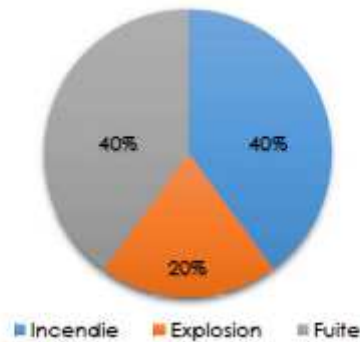


Figure 1.8. Typologie des accidents survenus sur des réservoirs à toit fixe et à écran flottant [3].

b- Cause des accidents :

Les causes courantes d'accidents sont dues dans 73,3 % des cas à des erreurs humaines et dans 26,7 % des cas à des défaillances matérielles (fissuration au niveau du bac, corrosion, etc.). La répartition des accidents selon leurs causes est présentée comme suit :

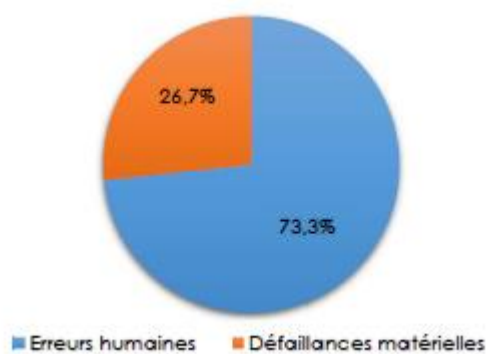


Figure 1.9. Causes des accidents survenus sur des réservoirs à toit fixe et à écran flottant [3].

c- Conséquences des accidents :

Les accidents recensés ont révélé que les conséquences les plus fréquentes sont les dommages matériels (57,9 %) correspondant généralement à des dommages au niveau des réservoirs et des pertes de produit stocké.

La pollution est la deuxième conséquence recensée (26,3%) et elle correspond à une infiltration des hydrocarbures dans le sol et à la contamination des eaux souterraines.

Pour les conséquences humaines, on dénombre 15,8% accidents parmi les accidents étudiés

CHAPITRE 01 : Généralités

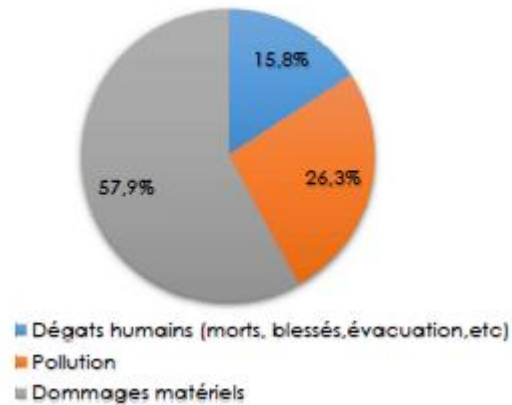


Figure 1.10. Conséquences des accidents survenus sur des réservoirs à toit fixe et à écran flottant [3].

d- Circonstances des accidents (pour les différents types de réservoirs) :

L'étude des principales circonstances de déclenchement des accidents étudiés montre que 66,7 % des cas sont survenus au moment où les installations fonctionnent dans des conditions normales et 33,3 % des sinistres se produisent lors des opérations de répartition ou de maintenance.



Figure 1.11. Circonstances des accidents étudiés [3].

1.7. Les distances d'effets :

La feuille de calcul "effets thermiques" permet de déterminer les distances d'effets pour chacun des seuils de 3, 5 et 8 kW/m² pour des feux d'hydrocarbures liquides de catégories B et C ainsi que pour des feux d'éthanol.

Les distances d'effets sont calculées à partir du bord des flammes dans tous les cas de figure et sur la médiatrice de chacun des côtés considérés pour les feux de forme rectangulaire et quelconque. Ces distances d'effets sont arrondies à la demi-décade supérieure. Elles ne peuvent être

CHAPITRE 01 : Généralités

inférieures à 10 m. En effet, les résultats donnés en termes d'effets thermiques radiatifs sont généralement peu pertinents dans l'environnement proche de la flamme.

1.8. L'incendie en dépôt de carburants :

Ce paragraphe a pour objectif de décliner les éléments généraux de l'accidentologie relevés à partir de l'analyse des accidents passés. Cette analyse a été réalisée pour différents types de combustibles pouvant être stockés en entrepôt.

1.8.1 Les accidents ayant impliqué des stockages de matières combustibles :

Une étude des accidents ayant impliqué des entrepôts de stockage de matières combustibles est disponible sur la base ARIA du BARPI. Les principaux enseignements de cette étude pour l'analyse des risques des installations sont repris ci-dessous :

- La quasi-totalité des accidents affectant des entrepôts sont des incendies (97%).
- Des effets domino de type propagation de l'incendie sont observés trois fois plus souvent pour les entrepôts que pour l'ensemble des accidents industriels.
- Les entrepôts exploités par l'industrie chimique ne sont impliqués que dans 4% des sinistres.
- Les causes sont principalement des actes de malveillance (28%), qui figurent également, probablement de manière significative, dans les causes inconnues ;
- Les autres principales causes sont la défaillance humaine (22%), la défaillance matérielle (36%).
- Les dommages pour l'entreprise (dommages matériels, perte d'exploitation, chômage) et l'extérieur (évacuation, dommages matériels) sont plus fréquents que dans l'ensemble des accidents industriels.
- Des pollutions sont notées : air (11%), eaux de surface (2,4%), eaux souterraines et sols (1,4%).
- La protection par un réseau d'extinction automatique et/ou des exutoires de fumées et de chaleur est efficace, ainsi que le compartimentage.
- La présence de matières plastiques dans un entrepôt rend l'intervention difficile et occasionne des dégâts importants.
- Généralement, le sinistre est difficile à maîtriser et les pompiers se contentent de protéger les stocks ou les installations voisines de l'incendie.

CHAPITRE 01 : Généralités

- Les moyens en eau s'avèrent souvent insuffisants pour l'intervention.

1.8.2 Les accidents ayant impliqué des liquides inflammables :

Le principal risque concernant ces produits est l'incendie. Il peut se produire suite à un épanchage accidentel ou par propagation d'un départ de feu indépendant.

Les accidents de ce type se caractérisent par une propagation très rapide du sinistre et un incendie violent. Les effets à redouter sont les effets thermiques et les fumées qui sont parfois visibles sur plusieurs kilomètres.

CONCLUSION :

Ce chapitre dresse quelques définitions relatives aux mécanismes et aux conséquences d'un feu de nappe ou de solides. Ces définitions, permettent d'appréhender les termes utilisés dans les chapitres à venir.

Le chapitre explicite les effets des phénomènes physiques dangereux sur l'homme ou l'environnement (effet sur l'homme et les structures). On a aussi proposé des notions concernant les carburants et leurs différents types et les caractéristiques physico-chimiques pour les deux variantes existantes (GO, ESS) au niveau du dépôt Naftal-Chiffa.

CHAPITRE 01 : Généralités

On a présenté les dépôts des carburants liquides et leurs activités. Dans le même contexte on a identifié les dangers et les risques attendus dans les dépôts ; on peut les trouver dans les études de danger fournissent notamment de nombreuses informations.

On a parlé des distances d'effets et des incendies en dépôts de carburants ; la description des accidents ayant implique les stockages des matières combustibles et des liquides inflammable est importante pour l'analyse et l'évitement des accidents pour passer à définir et caractériser les flammes des incendies avec les différentes corrélations qui sont montrée dans le prochain chapitre.

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

2.1. Introduction :

Dans ce chapitre on a traité en particulier de la description générale de l'incendie, des modes de transfert de chaleur d'un incendie, et on a discutés les principales modèles et corrélations de calcul de mise en œuvre simple pour l'estimation des effets thermiques radiatifs associés à un feu de nappe développées à partir d'essais et décrites dans la littérature

2.1.1. Description générale du phénomène d'incendie :

La combustion est une réaction physico-chimique d'oxydo-réduction exothermique entre un comburant et un combustible, déclenchée par une énergie d'activation :

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

La combustion a ainsi lieu en phase gazeuse dans la zone qualifiée de « flamme ». Une partie de l'énergie libérée par l'exothermicité 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-entretenue qui ne peut être arrêté que par la disparition du combustible ou du comburant ou de l'apport d'énergie.

La combustion des produits liquides (par ex. les hydrocarbures) intéresse les vapeurs émises par le produit réchauffé et non le liquide lui-même. De manière schématique, le combustible émet une certaine quantité de vapeurs à une température donnée. 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. Lorsque le mélange air-combustible se trouve dans le domaine d'inflammabilité et en présence d'une source d'inflammation, il s'enflamme.

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

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

théoriquement dans l'incendie et celle effectivement libérée. La quantité d'énergie ainsi émise sous forme de chaleur est notamment transférée :

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

Trois mécanismes fondamentaux du transfert de chaleur à partir de la flamme coexistent :

- La convection.
- La conduction.
- Le rayonnement.

Ces trois modes de transfert, participent à l'éventuelle propagation d'un incendie.

Ces différents mécanismes de transfert de la chaleur sont représentés de manière schématique dans la figure suivante :

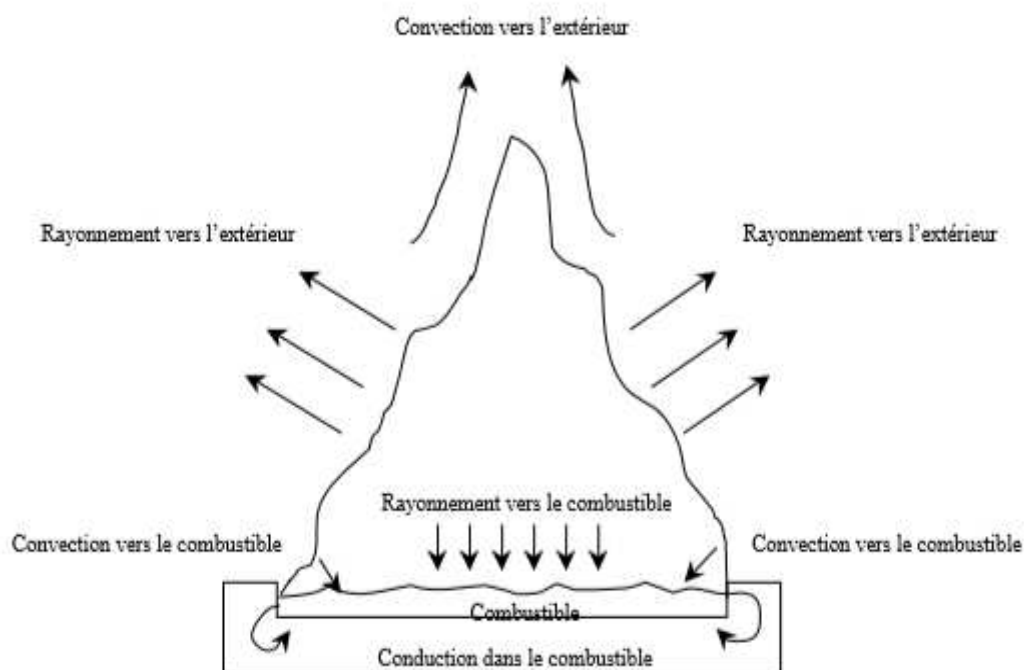


Figure 2.1. Mécanismes de transfert de la chaleur dans la flamme [2].

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

- **La 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 masse 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 chaudes et l'air froid, action mécanique extérieure telle la ventilation, ou désenfumage mécanique.

- **La 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.

- **Le 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 les 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 $0.1\mu\text{m}$ et $100\mu\text{m}$ (domaine du visible et fractions de l'ultraviolet et de l'infrarouge).

On cas d'incendie, les flammes et les fumées émettent une partie de l'énergie libérée par la réaction de combustion sous forme de radiations électromagnétique (flux thermique).

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

Le flux thermique est la quantité de chaleur transférée par rayonnement thermique par unité de temps, la formule générique du flux thermique émis par un feu de diamètre D_{eq} et reçu par une cible située à r mètres du feu est :

$$\Phi = \Phi_0 \times F(r) \times \Gamma(r) \quad (2.1)$$

avec :

- Φ : Pouvoir émissif de la flamme qui correspond à la puissance rayonnée par unité de surface de la flamme (kW/m^2).
- $F(r)$: Facteur de vue. Facteur purement géométrique qui traduit l'énergie émise par un feu et reçue par une cible.
- $\Gamma(r)$: Transmissivité atmosphérique caractérisant la capacité d'atténuation du flux rayonné par absorption atmosphérique. Ce facteur permet d'intégrer l'influence de l'air sur le flux émis. En effet, une partie du flux est absorbée par l'air (plus particulièrement par l'eau et le CO_2), entre le front de flamme et la cible. Ce facteur est indépendant de la surface en feu et du produit mis en jeu.

Dans ce chapitre on présente une synthèse de corrélations et de lois empiriques usuelles permettant d'évaluer simplement les différents paramètres à prendre en compte pour l'application du modèle de la flamme solide.

2.2. Modélisation des effets thermiques radiatifs :

2.2.1. Modèle pour le pouvoir émissif :

Il existe plusieurs modèles pour calculer le pouvoir émissif d'une flamme.

2.2.1.a. Modèle TNO / Yellow Book (1992) :

$$\Phi_0 = \Phi_{max} \times (1 - \zeta) + \Phi_{soot} \times \zeta \quad (2.2)$$

avec :

- Φ_{max} : pouvoir émissif d'une flamme sans fumées noires.
- Φ_{soot} : pouvoir émissif des fumées ($20\,000 \text{ W/m}^2$ pour $T = 800\text{K}$).

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

- $\zeta = 0.80$: pourcentage du flux absorbé par les fumées noires.

$$\Phi_{max} = m'' \cdot FR \times \frac{\Delta hc}{1 + 4 \frac{L}{Deq}} \quad (2.3)$$

avec :

- FR : fraction radiative (FR varie entre 0,1 et 0,4 selon le produit) (-).
- Δhc : Chaleur de combustion du produit (J/kg).
- m'' : Débit massique de combustion par unité de surface en feu ($\text{kg/m}^2/\text{s}$).

Ce modèle intègre des paramètres qui caractérisent :

- la géométrie du feu : hauteur et surface de flamme.
- la nature du feu : type de produit.

La fraction radiative, qui varie entre 0,1 et 0,4, traduit la perte d'une partie de la chaleur par convection et conduction. Ce paramètre qui dépend du produit, mais également du diamètre de la nappe en feu est en général difficile à estimer.

- Dans une approche majorante, l'UIC prend une FR égale à 0,35, ce qui correspond à un feu de benzène.
- Les travaux réalisés par Koseki indiquent que pour une nappe d'hydrocarbures d'un rayon supérieur à 10 mètres, la fraction radiative est inférieure à 0,1. La décroissance de la fraction radiative pour des hydrocarbures générant beaucoup de suies (kérosène, heptane...) peut être due, comme le mentionne l'INERIS, à l'absorption du rayonnement par les fumées, dont la production augmente avec le diamètre du feu.

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

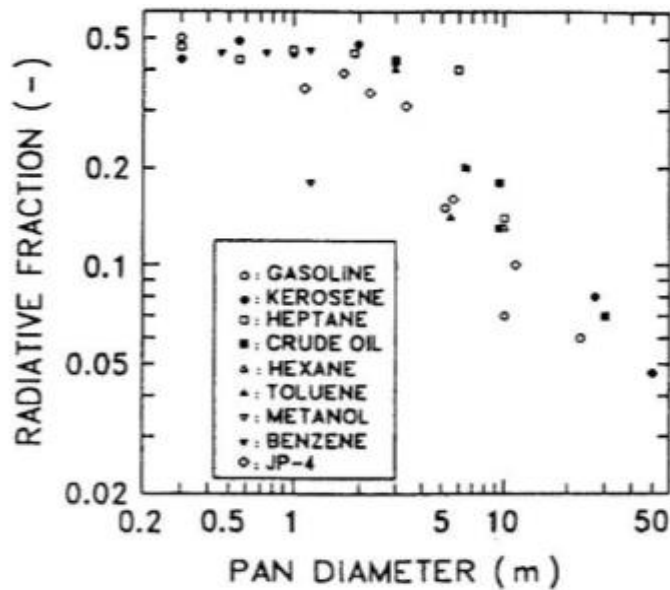


Figure 2.2. Fraction radiative en fonction du diamètre de nappe [2].

2.2.1.b. Modèle Mudan et Croce :

L'approche proposée par Mudan et Croce résulte d'une corrélation établie à partir d'essais réalisés sur des feux de 1m à 80 m de diamètre, avec différents hydrocarbures (le gazole, le kérosène et le JP-5). Le pouvoir émissif de la flamme est donné par l'équation :

$$\Phi_0 = \Phi_{max} \times e^{(-SD)} + \Phi_{fumées} \times (1 - e^{(-SD)}) \quad (2.4)$$

avec :

- Φ_{max} : pouvoir émissif maximum des parties lumineuses de la flamme (140 kW/m²).
- $\Phi_{fumées}$: pouvoir émissif des fumées (20 kW/m²).
- S : coefficient expérimental égal à 0,12 m⁻¹.

L'unique variable de cette formule est le diamètre équivalent, soit la surface en feu.

2.2.1.c. Modèle IT-89 :

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

L'Article 1 des commentaires de l'IT-89 propose des formules « déterminées pour l'éloignement des habitations et routes d'une part, des établissements recevant du public et des voies à grande circulation d'autre part en retenant respectivement des seuils de 5 kW/m² et 3 kW/m² pour les seuils de flux thermiques. » Ces formules sont les suivantes :

$$\text{➤ Pour } 5 \text{ kW/m}^2 : d = 2.8 \times K^{0.85} (1 - 2.2 \cdot 10^{-3} K^{0.85}) \quad (2.5)$$

$$\text{➤ Pour } 3 \text{ kW/m}^2 : d = 3.8 \times K^{0.85} (1 - 3 \cdot 10^{-3} K^{0.85}) \quad (2.6)$$

avec : K : longueur du côté d'une cuvette carrée de même surface que la surface examinée.

En utilisant la formule générique $\Phi = \Phi_0 \times F(r) \times \Gamma(r)$, d'aboutir aux formules d'IT 89 présentées au § 1, le pouvoir émissif est considéré comme constant ; il a été pris égal à 29720 W/m².

2.3. Modèle pour la hauteur de flamme :

- Hauteur de flamme (H) :

La hauteur de flamme associée à un feu de nappe peut être estimée grâce à des corrélations établies à partir d'essais ou de données disponibles dans la littérature. En règle générale, ces dernières font intervenir la notion de débit masse surfacique de combustion (kg/(m²s)), noté m''.

Le débit masse de combustion par unité de surface, m'', représente la quantité de combustible participant à l'incendie par unité de temps et de surface de combustible au sol. Il peut ainsi être associé à la vitesse de combustion ou vitesse de régression linéaire de la nappe, v (m/s), qui est définie comme la vitesse de diminution de l'épaisseur d'une nappe soumise à un incendie. La formule suivante relie ces deux grandeurs physiques :

$$m'' = \rho \times v \quad (2.7)$$

où :

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

- m'' : débit masse surfacique de combustion (kg/m²s).
- ρ : masse volumique du combustible (kg/m³).
- v : vitesse de régression de la nappe (m/s).

2.3.1. Modèle de Heskestad :

C'est une corrélation relativement récente (1984). Elle possède le domaine de validité le plus important que ce soit en termes de produit ou de type de feu.

$$H = \left(-1.02 + 15.6 N^{\frac{1}{5}}\right) \times D \quad (2.8)$$

$$N = \frac{Cp_0 T_0}{g \Delta Hc} \left(\frac{\eta_{comb} \times m'}{\rho_a}\right) \frac{r_s^3}{D^5} \quad (2.9)$$

$$r_s = 137.87 \frac{x+y/4+z/2}{12x+y+16z} \quad (2.10)$$

avec :

- Cp_0 : capacité calorifique du gaz de référence (air) (J/kg. K).
- T_0 : température de l'air (K).
- r^s : rapport stœchiométrique air/combustible.
- m' : débit de combustion (kg/s) ($m' = m'' \times$ Surface de combustible au sol).

Cette relation est valable pour des valeurs de N comprises entre 10⁻⁵ et 10⁺⁵, pour un hydrocarbure liquide de formule brute C_xH_yO_z. Le rendement η_{comb} tient compte du fait qu'une partie du produit ne participe pas à la combustion. D'après des mesures réalisées par Tewarson, cité par Drysdale ; ce rendement peut varier entre 0,35 et 0,99, avec une valeur moyenne de 0,7. En revanche, Bagster et Pitblado donnent une valeur plus élevée comprise entre 0,90 et 0,95. Il semble donc que le rendement ne peut pas être connu de façon précise, et que seul un ordre de grandeur est utilisable. Heskestad propose une formule simplifiée qui constitue une approximation raisonnable de cette corrélation pour les combustibles les plus courants dans des conditions atmosphériques classiques.

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

$$H/D = -1.02 + 0.235 Q^{2/5}/D \quad (2.11)$$

avec :

- Q : puissance dégagée par la combustion (kW)

La corrélation d'Heskestad peut également être reliée au nombre de Froude, (Fr).

2.3.2. Modèle de Thomas :

a. vent < 1 m/s :

$$L = 42 \times Deq \times \left(\frac{m''}{\rho_{air} \times \sqrt{g \times Deq}} \right)^{0.61} \quad (2.12)$$

avec :

- ρ_{air} : la masse volumique de l'air ambiant (kg/m^3)
- m'' : débit massique de combustion par unité de surface de la nappe en feu ($\text{kg/m}^2/\text{s}$)
- g : l'accélération de la pesanteur ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Remarque : avec $\rho_{air} = 1,161 \text{ kg/m}^3$, cette expression de L devient :

$$L = 1.91 \times Deq^{0.695} \times m''^{0.61} \quad (2.13)$$

b. vent > 1 m/s :

$$L = 55 \times Deq \times \left(\frac{m''}{\rho_{air} \times \sqrt{g \times Deq}} \right)^{0.67} \times (u^*)^{-0.21} \quad (2.14)$$

avec :

$$u^* = \frac{u_w}{\left(\frac{g \times m'' \times Deq}{\rho_{air}} \right)^{\frac{1}{3}}} \quad (2.15)$$

avec :

- u_w : la vitesse du vent (m/s)

Remarque : avec $\rho_{air} = 1,161 \text{ kg/m}^3$, l'expression de L devient :

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

$$L = 26.89 \times u_w^{-0.21} \times m^{0.74} \times Deq^{0.735} \quad (2.16)$$

2.3.3. Effets dus aux vents :

De manière schématique, les effets associés à l'action du vent sur le comportement de la flamme sont :

- L'inclinaison de la flamme par rapport à la verticale.
- La modification de la hauteur moyenne de flamme (selon les vitesses de vent).
- L'élargissement de la base des flammes dans la direction du vent.

Il est clair que l'estimation de ces phénomènes est complexe compte tenu notamment du caractère intermittent du vent à l'échelle locale. Dans le cadre de ce document, il a été choisi de présenter quelques corrélations visant à caractériser simplement ces phénomènes.

a- Inclinaison de la flamme :

L'inclinaison de la flamme sera représentée par l'angle θ , repéré par rapport à la verticale, conformément à la Figure.

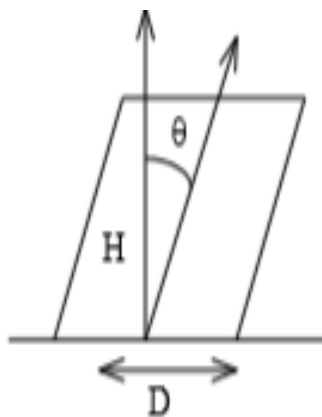


Figure 2.3. Inclinaison de la flamme sous l'effet du vent [2].

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

Cet angle peut être estimé à partir de la vitesse du vent grâce à la formule établie par l'American Gas Association (AGA), à partir de feux de gaz naturel :

$$u^* = \frac{u_w}{\left(\frac{g \times m' \times D}{\rho_{air}}\right)^{\frac{1}{3}}} \quad (2.17)$$

Si $u^* < 1$ alors $\cos \theta = 1$

$$\text{sinon } \cos \theta = \frac{1}{\sqrt{u^*}}$$

avec :

- u_w : vitesse du vent mesurée à une hauteur de 1.6 m

Welker et Sliepcevitch [9] proposent une autre corrélation, établie à partir d'essais sur des feux de combustibles liquides dont le diamètre n'excédait pas 60 cm.

$$\frac{\tan \theta}{\cos \theta} = 3,3 \left[\frac{D u_w}{\nu} \right]^{0.07} \left[\frac{u_w^2}{g D} \right]^{0.8} \left[\frac{\rho_g}{\rho_a} \right]^{-0.6} \quad (2.18)$$

avec :

- ν : viscosité cinématique de l'air (m².s)
- ρ_g : masse volumique des vapeurs de combustibles à la température d'ébullition (pression atmosphérique) (kg/m³)

D'après ses travaux sur des feux de produits celluloseux, Thomas propose la corrélation suivante pour le calcul de l'angle d'inclinaison :

$$\cos \theta = 0.7 \left[\frac{u_w}{\left(\frac{g \times m' \times D}{\rho_a}\right)^{\frac{1}{3}}} \right]^{-0.49} \quad (2.19)$$

b- Détermination de la hauteur de flamme :

Les corrélations disponibles traduisent le fait que la hauteur moyenne de flamme est inversement proportionnelle à la vitesse du vent.

Ainsi, Thomas propose la corrélation suivante :

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

$$H = 55 \times D \times \left(\frac{m''}{\rho_a \sqrt{g \times D}} \right)^{0.67} \times (u^*)^{-0.21} \quad (2.20)$$

avec :

- $u^* = u_w / u_c$: vitesse adimensionnelle du vent.
- u_w : vitesse du vent (m/s).
- $u_c = \left[gD \frac{m''}{\rho_a} \right]^{\frac{1}{3}}$: vitesse caractéristique.

Si $u < u_c$, $u^* = 1$

De même, les résultats expérimentaux sur le gaz naturel liquide (GNL) obtenus par Moorhouse ont montré un comportement physique semblable à celui fourni par la corrélation de Thomas. Il propose ainsi de « corriger » sa corrélation sur la hauteur de flammes en introduisant un facteur supplémentaire dû au vent :

$$H = 6.2 \times D \times [m''_{ad}]^{0.254} \times [u_{10}^*]^{-0.044} \quad (2.21)$$

et : $m''_{ad} = \frac{m''}{\rho_a \sqrt{gD}}$

avec :

- u_{10}^* : vitesse adimensionnelle du vent à 10 m d'altitude.

2.4. Modèle pour le facteur de vue :

a- Facteur de forme :

La technique de détermination des facteurs de forme permet de traiter le problème des échanges thermiques à distance. Le facteur de forme entre deux surfaces (ou encore facteur de vue géométrique) traduit la fraction de l'énergie émise par une surface S_i interceptée par S_k :

$$f_{ik} = \frac{\theta_{i \rightarrow k}}{\theta_i} \quad (2.22)$$

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

Ainsi, il est purement géométrique et ne dépend que de la disposition relative des deux surfaces et de leur géométrie respective. La détermination des f_{ik} se fait à l'aide des deux relations suivantes :

$$f_{i1} + f_{i2} + \dots + f_{ii} + \dots + f_{ik} = 1 \quad (2.23)$$

$$S_i f_{ik} = S_k f_{ki}$$

L'application au cas particulier des feux industriels, conduit à définir précisément les formes géométriques de la flamme et du récepteur. Généralement, la flamme est assimilée à une forme géométrique simple, par exemple :

- Un cylindre droit dont la base est la surface circulaire de la flaque et la hauteur est estimé 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 la hauteur est estimé par des formules empiriques.

Concernant le récepteur, il est le plus 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.

b- Le calcul intégral du facteur de vue :

Le facteur de vue peut être calculé à partir d'un calcul intégral sur la base de la relation suivante :

$$F_{S \rightarrow C} = \sum_{ij} \frac{|(\vec{r}_{ij} \cdot \vec{n}_{ij}) \cdot (\vec{r}_{ij} \cdot \vec{n}_C)|}{\pi \cdot \|\vec{r}_{ij}\|^4} \quad (2.24)$$

Les différentes grandeurs sont définies sur le schéma suivant.

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

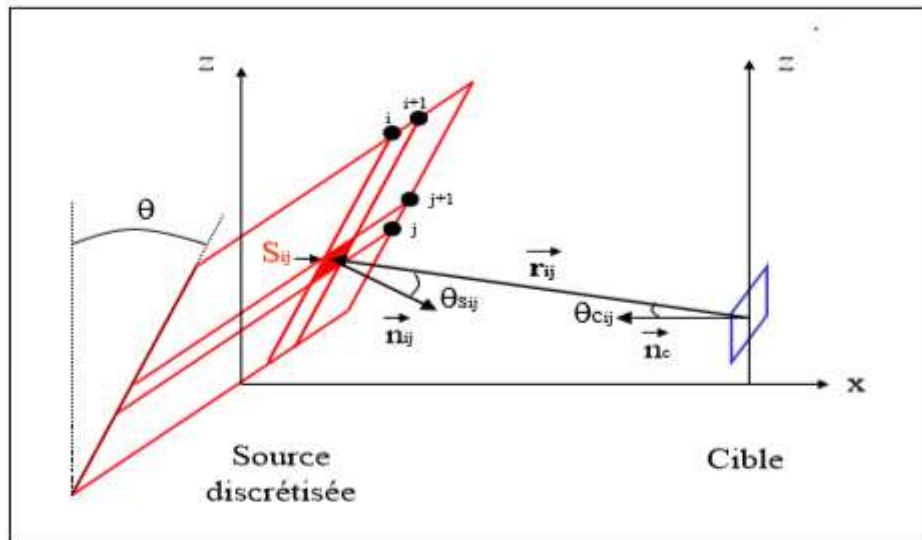


Figure 2.4. Schéma général entre une flamme et une cible [2].

La surface source est discrétisée en $n \times n$ surfaces élémentaires, puis un facteur de vue est calculé sur chacune de ces surfaces. Le facteur de vue final recherché correspond à la somme de ces derniers. Le facteur de vue est donc obtenu par la somme suivante :

$$F_{S \rightarrow C} = \sum F_{S_{ij} \rightarrow C} = \sum_{ij} \frac{\cos \theta_{S_{ij}} \cdot \cos \theta_{C_{ij}}}{\pi r_{ij}^2} \quad (2.25)$$

Cette relation est utilisée notamment lorsque la flamme est inclinée et qu'un ou plusieurs écrans thermiques sont situés entre la flamme et la cible.

Il existe également de multiples formules analytiques permettant de déterminer le facteur de forme pour des géométries diverses (SPARROW & CESS, 1977). Les paragraphes suivants présentent quelques formules utiles pour des configurations classiques

- Cas d'un cylindre droit.
- Cas d'un plan vertical.

2.4.1. Cas d'un cylindre droit :

Selon des modèles établis classiquement, afin de calculer analytiquement le facteur de forme pour un cylindre droit et une cible élémentaire située au niveau du sol. En considérant une surface élémentaire verticale (perpendiculaire au sol) :

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

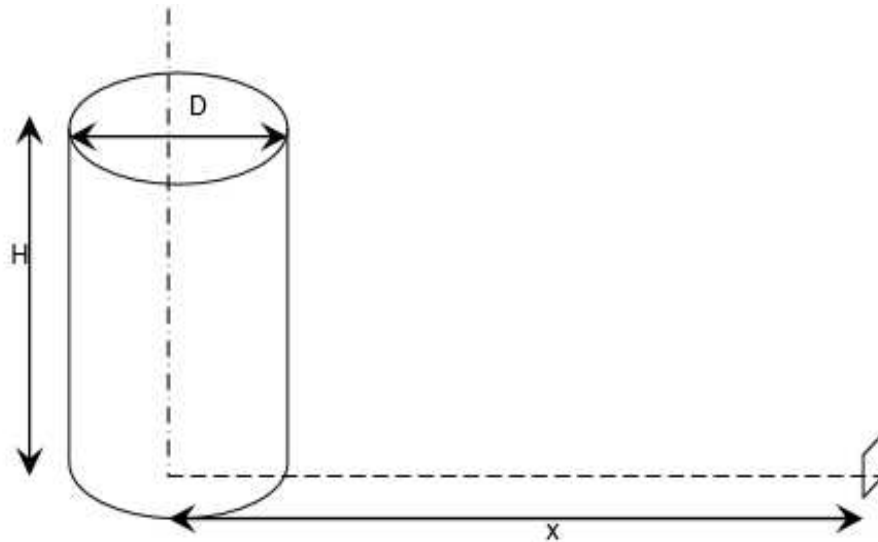


Figure2.5. Cylindre verticale (surface perpendiculaire au sol) [2].

$$F_v = \frac{1}{\pi X} \text{Arc tan} \left(\frac{L}{\sqrt{X^2-1}} \right) + \frac{L}{\pi} \left[\frac{(A-2X)}{X\sqrt{AB}} \text{Arc tan} \sqrt{\frac{A(X-1)}{B(X+1)}} - \frac{1}{X} \text{Arc tan} \sqrt{\frac{X-1}{X+1}} \right] \quad (2.26)$$

où : $R = D/2$

$$A = (X+1)^2 + L^2$$

$$L = H/R$$

$$B = (X-1)^2 + L^2$$

$$X = x/R$$

F_v : Facteur de forme pour une cible verticale.

En considérant une surface élémentaire horizontale (parallèle au sol) :

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

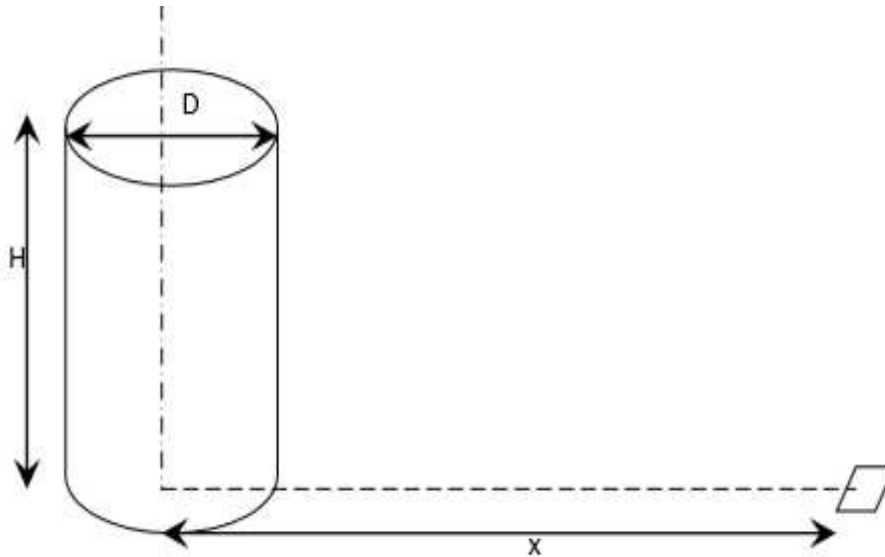


Figure 2.6. Cylindre verticale (surface élémentaire horizontale « parallèle au sol » [2].

$$F_h = \frac{1}{\pi} \left[\text{Arc tan} \sqrt{\frac{X-1}{X+1}} - \frac{(X^2-1+L^2)}{\sqrt{AB}} \text{Arc tan} \sqrt{\frac{A(X-1)}{B(X+1)}} \right] \quad (2.27)$$

où : $R = D/2$

$$A = (X+1)^2 + L^2$$

$$L = H/R$$

$$B = (X-1)^2 + L^2$$

$$X = x/R$$

F_v : Facteur de forme pour une cible horizontale.

A noter que pour une cible à une hauteur h du sol, il suffit de décomposer le cylindre de flamme en deux selon un plan horizontal à l'altitude h afin de pouvoir appliquer les formules précédentes sur chaque moitié de cylindre.

2.4.2. Cas d'un plan vertical :

De la même façon, des formules analytiques simples permettent de déterminer le facteur de forme pour un plan vertical et une cible élémentaire. Les formules suivantes ont ainsi été proposées par Sparrow et Cess. Considérant une surface élémentaire verticale (parallèle au mur de flamme), le facteur de forme est donné par la formule suivante :

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

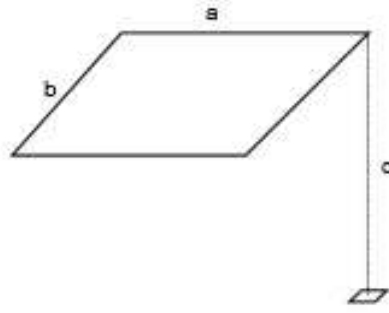


Figure 2.7. Surface verticale (parallèle au mur de flamme) [2].

$$X=a/c \quad Y=b/c$$

$$F_v = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \text{Arctg} \left(\frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} \right) + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \text{Arctg} \left(\frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right) \right] \quad (2.28)$$

Pour une surface élémentaire orientée perpendiculairement au plan émetteur (cible horizontale), le facteur de forme est déduit à partir de la formule suivante :

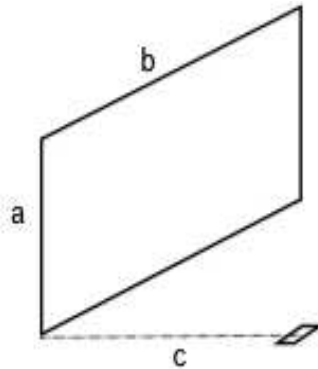


Figure 2.8. Surface orienté perpendiculaire au plan (cible horizontale) [2].

$$X=a/b \quad Y=c/b$$

$$A = \frac{1}{\sqrt{X^2+Y^2}} \quad F_h = \frac{1}{2\pi} \left(\text{Arctg} \frac{1}{Y} - A \cdot Y \cdot \text{Arctg} A \right) \quad (2.29)$$

Bien entendu, les formules deviennent plus complexes lorsqu'il s'agit de prendre en compte l'effet du vent par exemple.

En outre, mentionnons que la présence d'un obstacle éventuel ou d'un écran entre les flammes (mur coupe-feu par exemple) et la cible peut également être prise en compte dans la

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

détermination des facteurs de forme. Il s'agit alors de déterminer le facteur de forme de l'obstacle en question et le soustraire au facteur de forme entre la cible et la flamme.

Une autre formule de facteur de vue plus générique existe et permet de traiter les cas avec et sans vent ainsi que toutes les positions de cibles possibles (notamment, verticale, horizontale et latérale).

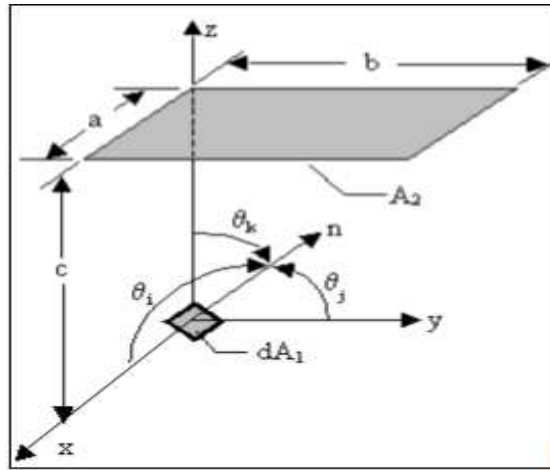


Figure 2.9. Schéma pour le calcul analytique du facteur de vue [2].

$$F_{d1 \rightarrow 2} = \frac{1}{2\pi} \left[\tan^{-1} B \times \cos \theta_i + \tan^{-1} A \times \cos \theta_j + \frac{A \cos \theta_k - \cos \theta_i}{(1 + A^2)^{1/2}} \tan^{-1} \frac{B}{(1 + A^2)^{1/2}} + \frac{B \cos \theta_k - \cos \theta_j}{(1 + B^2)^{1/2}} \tan^{-1} \frac{A}{(1 + B^2)^{1/2}} \right] \quad (2.30)$$

où $A=a/c$; $B=b/c$

Cette formule ne peut pas être utilisée lorsque le plan formé par la cible coupe la flamme. Dans un tel cas, le facteur de vue doit être déterminé par la formule faisant intervenir l'intégrale double.

2.4.3. Formule IT-89 :

- Le facteur de vue est une fonction du type :

$$dF = \frac{\cos \alpha_1 \cos \theta_1}{\pi r^2} dS \quad (2.31)$$

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

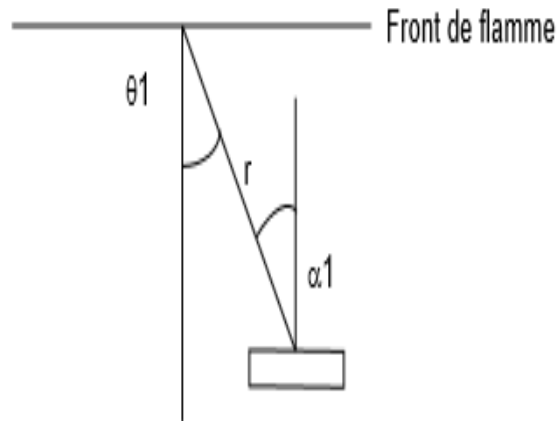


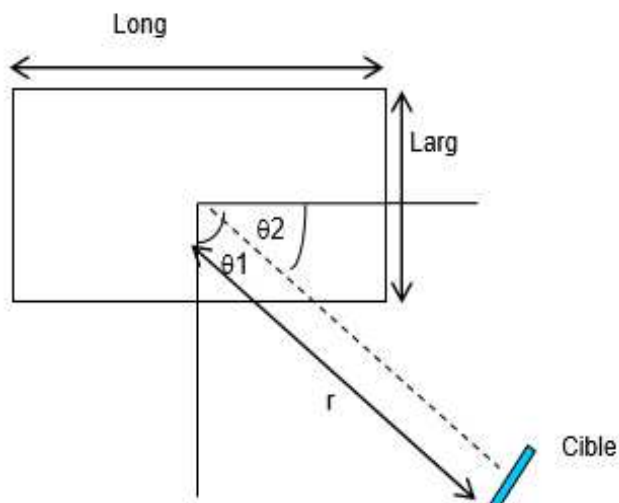
Figure 2.10. Schéma explicatif des angles entre la cible et le front de flamme [2].

Pour une source ponctuelle face au front de flamme $\theta = 0$ donc $\cos \alpha = 1$

Avec ces premières hypothèses, l'équation du facteur de vue s'écrit :

$$F_1 = \frac{\cos \theta_1}{\pi r^2} S_1 \quad (2.32)$$

Le rapport "dépôts anciens de liquides inflammables" qui retranscrit les réunions du groupe de travail ayant participé à la rédaction de l'IT-89 illustre la démarche suivie pour déterminer le facteur de vue F avec le schéma



participé à la rédaction de l'IT-89 illustre la démarche suivie pour déterminer le facteur de vue F avec le schéma

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

Figure 2.11. Schéma explicatif des angles entre la cible et le front de flamme [2].

Le flux reçu par la cible est la somme des flux émis sur la longueur (Long) et sur la largeur (Larg) de la cuvette.

$$F_{long} = \frac{\cos \theta_1}{\pi r^2} S_{long} \quad \text{Avec} \quad S_{long} = Long \times L$$

$$F_{larg} = \frac{\cos \theta_2}{\pi r^2} S_{larg} \quad \text{Avec} \quad S_{larg} = Larg \times L$$

$$F = F_{Larg} + F_{Long} = \frac{(\cos \theta_1 \times S_{long} + \cos \theta_2 \times S_{larg})}{\pi \times r^2} \quad (2.33)$$

Remarque :

Dans le rapport de Lannoy qui a servi de base de travail à l'IT-89, les angles et distances d'origine d'effet ne sont pas définies au centre de la cuvette (comme c'est le cas sur le schéma 1 ci-avant), mais par rapport au milieu du front de flamme.

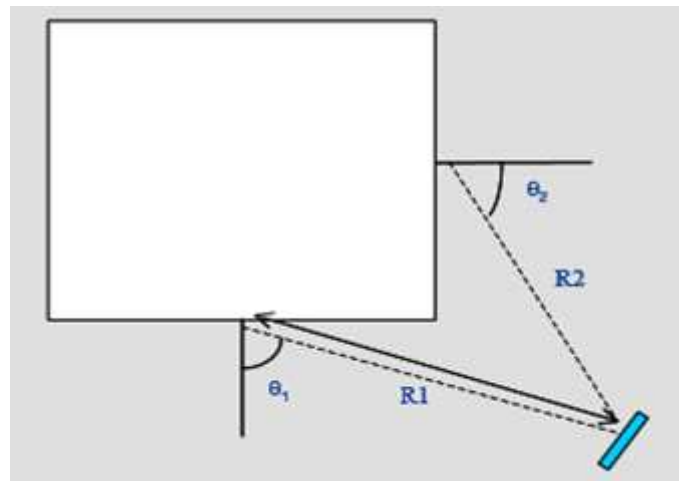


Figure 2.12. Schéma explicatif des angles entre la cible et le front de flamme [2].

L'impact sur le résultat est significatif puisque la distance est déterminée à partir du centre de la cuvette (et non pas à partir du bord) et les angles ne sont pas fonction de l'éloignement de la cible.

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

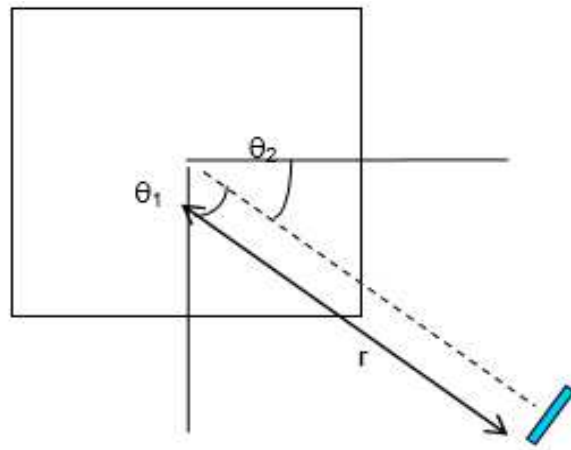
Pour l'IT-89,
ensuite été faite
feu est carrée, de

On a ainsi :

$$K \times L = S$$

F devient : $F =$

(2.35)



l'hypothèse a
que la cuvette en
côté K.

$$S_{long} = S_{larg} =$$

(2.34)

$$\frac{\cos \theta_1 + \cos \theta_2}{\pi r^2} \times S$$

Figure 2.13. Schéma explicatif des angles entre la cible et le front de flamme [2].

- D'autre part $\theta_2 = \frac{\pi}{2} - \theta_1$ donc $\cos \theta_2 = \sin \theta_1$

Et F s'écrit :

$$F = \frac{\cos \theta_1 + \sin \theta_1}{\pi r^2} \times S \quad (2.36)$$

La valeur de la somme du cosinus et du sinus d'un angle est maximale pour un angle de 45°. Afin de s'affranchir des problématiques de détermination des angles et dans une approche conservative, le GT IT-89 a posé : $(\cos \theta_1 + \sin \theta_1)_{max} = \sqrt{2}$

Ainsi,

$$F = \frac{\sqrt{2}}{\pi r^2} K \times L \quad (2.37)$$

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

$$\begin{aligned} \text{Où : } L &= 17.6m^{0.6}/D^{0.5} \\ &= 17.6 \times (\rho \times v \times s)^{0.6}/K^{0.5} \end{aligned}$$

Les valeurs de v et de ρ ont été fixées par le GT-IT.89 :

- $v = 3.4\text{mm/min}$
- $\rho = 960 \text{ kg/ m}^3$

Remarque :

Le rapport de Lannoy indique que 3.4 mm/min est le taux de combustion des fractions légères et 960 kg/m³ est la masse volumique de fractions lourdes. La littérature donne des valeurs sur ces deux grandeurs.

Dans l'IT-89, le facteur de vue se calcule donc selon la formule suivante :

$$F = 1.38 \times \frac{K^{1.7}}{r^2} \quad (2.38)$$

2.5. Modèle pour le facteur d'atténuation atmosphérique :

Le facteur de transmissivité atmosphérique traduit le fait que les radiations émises sont en partie absorbées par l'air présent entre la surface radiante et la cible. Ce facteur de transmissivité vaut (1 – le facteur d'absorption). Quant au facteur d'absorption, sa valeur dépend des propriétés absorbantes des particules de l'air en relation au spectre d'émission du feu. A une température donnée, cette atténuation est fonction de la distance de la cible à la flamme et de l'humidité relative de l'air. L'atténuation en question est due principalement à :

- L'absorption des radiations infrarouges par la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone contenus dans l'atmosphère.
- La diffraction par les poussières et les suies en suspension.

Etant donné que la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone sont les principaux composants absorbants pour la longueur d'onde correspondant à la radiation, l'approximation suivante peut être réalisée :

$$\tau = 1 - \alpha(eau) - \alpha(CO_2) \quad (2.39)$$

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

Les facteurs d'absorption α dépendent de la pression de vapeur saturante, de la longueur de la radiation, et des températures de radiation et ambiante. La pression de vapeur saturante du dioxyde de carbone est fixe, alors que celle de l'eau dépend de la température et de l'humidité de l'air. Dans la littérature, différentes corrélations existent pour déterminer ce facteur de transmittivité, elles tiennent compte de la distance et de l'humidité (relative ou absolue).

2.5.1. La corrélation de Brzustowski et Sommer :

Elle donne le meilleur compromis entre précision et complexité (API, 1973).

$$\tau = 0.79 \times (100/d)^{1/16} \times (30.5/RH)^{1/16} \quad (2.40)$$

où

- d : distance de la cible à la source (m)
- RH : taux d'humidité relative de l'air (%)

2.5.2. La corrélation de Lannoy :

Elle est donnée par la relation suivante (LANNNOY, 1984):

$$\tau = 0.33 + 0.67 \cdot \exp(-0.0002 \cdot w \cdot d) \quad (2.41)$$

où

- d : distance de la cible à la source (m).
- w : humidité absolue de l'atmosphère ambiante (g/kg d'air sec).

2.5.3. La corrélation de Bagster :

Elle est donnée par la relation suivante (BAGSTER, 1989) :

$$\tau = 2.02 \cdot (p_w \cdot d)^{-0.09} \quad (2.42)$$

où

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

- d : distance entre la flamme et la cible (m).
- p_w : pression partielle d'eau dans l'air (Pa).

$$p_w = RH \cdot e^{\left(14.4114 - \frac{5328}{T_a}\right)} \cdot 1.013 \times 10^5 \quad (2.43)$$

- RH : taux d'humidité de l'air (%).
- T_a : température ambiante (K).

2.5.4. Corrélation de Wayne :

Elle est donnée par la relation suivante :

$$\tau = 1.006 - 0.017 \log \times (H2O) - 0.2368(\log \times (H2O))^2 - 0.03188 \log \times (CO2))^2 \quad (2.44)$$

où :

- $X(H2O) = d \times HR \times P_{VAP5H2O} \times (288.73/T)$
- $X(CO2) = d \times 273 \times t$
- $P_{VAP5H2O}$: Pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air,
- RH: Taux d'humidité relative de l'air (%),
- w : humidité absolue de l'air ambiant (g/ kg d'air sec).

L'influence des paramètres, température et humidité de l'air, ont été testés et il en ressort les conclusions suivantes :

- Pour les modèles de Bagster, de Wayne et de Brzustowski et Sommer, la valeur de l'humidité n'a que peu d'influence sur le facteur de transmittivité atmosphérique. En revanche, pour le modèle de Lannoy, il convient de spécifier l'humidité absolue du site.
- Pour l'ensemble des modèles exceptés Brzustowski et Sommer (qui est indépendant de la température), une variation de 20° C à un impact de l'ordre de 10% sur la valeur de la transmittivité atmosphérique.

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

CONCLUSION :

Ce chapitre sur les feux de nappe s'est attaché après l'analyse d'accidents, à passer en revue les différentes corrélations permettant de caractériser la flamme d'un incendie de produits liquides

On a présenté des méthodes de calcul de mise en œuvre simple pour l'estimation des effets thermiques radiatifs associés à un feu de nappe. Bien entendu, il existe des modèles plus complexes que ceux présentés dans ce chapitre et qui permettent de décrire plus finement le comportement d'une flamme (y compris les modèles numériques).

Dans cette optique, la détermination des distances d'effets associés aux flux thermiques émis par un feu de nappe de liquides inflammables est une modélisation complexe faisant intervenir de nombreux paramètres interdépendants qu'on a mentionnés (Pouvoir émissif, hauteur de flammes, facteur de vue et le facteur d'atténuation atmosphérique).

Les formules au-dessus permettent de définir la géométrie de flamme soumise ou non au vent et de déterminer le pouvoir émissif de flamme, étape importante pour l'estimation des distances d'effets.

Dans le chapitre suivant on va essayer d'appliquer les méthodes qu'on a étudiés dans ce chapitre pour accomplir une contribution à la modélisation des effets thermiques lors d'un incendie en feu de nappe, cas de la station de NAFTAL-Chiffa.

CHAPITRE2 : Modélisation des effets thermiques radiatifs

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

3. Introduction :

Dans ce chapitre on va faire une présentation sur le centre de stockage et distribution de produits pétroliers de NAFTAL « CDS 098 Chiffa ». Dans ce centre, on a effectué un stage pratique en janvier 2020, prévu pour une période de six mois, mais reporté à une date ultérieure en raison des circonstances du confinement (COVID-19).

On va aussi appliquer les modèles présentés au chapitre 02, pour faire la modélisation des effets thermiques (lors d'un incendie en feu de nappe) et prédire les distances d'effets critiques.

3.1. Présentation de dépôt de carburant Naftal :

3.1.1. Description de l'environnement du site :

1. Situation géographique :

Le centre de stockage et de distribution de carburants de Chiffa est situé à 2 km au NORD OUEST de la ville de Chiffa ; il est limité au nord par la voie de chemin de fer Alger –Oran et un peuplement de gourbis, au sud par la route nationale RN42, à l'est par le département technique, à l'ouest par l'unité pneumatique et lubrifiants.



CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

Figure 3.1. Vue satellite du site [4].

2. Historique :

- Le Centre a été construit en 1942 par l'armée française.
- Le dépôt était ravitaillé par voie ferrée et par route.
- Le dépôt a fonctionné jusqu'à l'indépendance (1962) puis a cessé d'activer.
- En 1970, il a été intégré dans le patrimoine SONATRACH, et après restructuration en 1982 dans celui de NAFTAL.
- De 1982 à 1984, le dépôt a subi une rénovation complète, restauration des bacs existants, augmentation de capacité et modernisation des installations et équipements.
- En Avril 1984, il a été remis en exploitation.

3. Servitudes :

Le site fait l'objet de servitudes diverses au titre de la protection de l'environnement en tant que site abritant des installations classées à risques. Ces servitudes sont connues et recensées pour être opposées aux tiers.

4. Les inondations :

Le risque d'inondation est lié à la présence de l'Oued Chiffa à la limite Est du site et à la pénétration des eaux de pluie en cas de fortes tempêtes. L'oued Chiffa est éloigné de quelques 2 km.

5. Données climatiques :

Les données climatiques proviennent de la station météorologique de Blida. Le climat de la région Algéroise est de type méditerranéen avec des étés chauds et humides et des hivers doux et pluvieux. Le climat subit les influences de la mer ; les gelées sont rares.

6. La rose des vents :

Le site est balayé par :

- En été par des vents de direction Sud - Nord et Nord – Est, avec une fréquence de 29 %
- en Hiver par des vents de direction Sud-Nord, avec une fréquence de 36 %

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

7. Température :

Les températures moyennes annuelles varient entre 12 °C et 25° C avec une moyenne annuelle de 15 °C. L'hiver la température peut descendre à 0°C (janvier – février)

8. Pluviométrie :

La pluviométrie atteint une moyenne de 900 mm/an environ. Les mois les plus pluvieux vont de novembre à janvier, les minimums sont juillet et août ; les gelées ne sont pas rares.



Figure 3.2. Photographie montrant les voies de chemin de fer inopérantes desservant le CDS Chiffa [4].

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

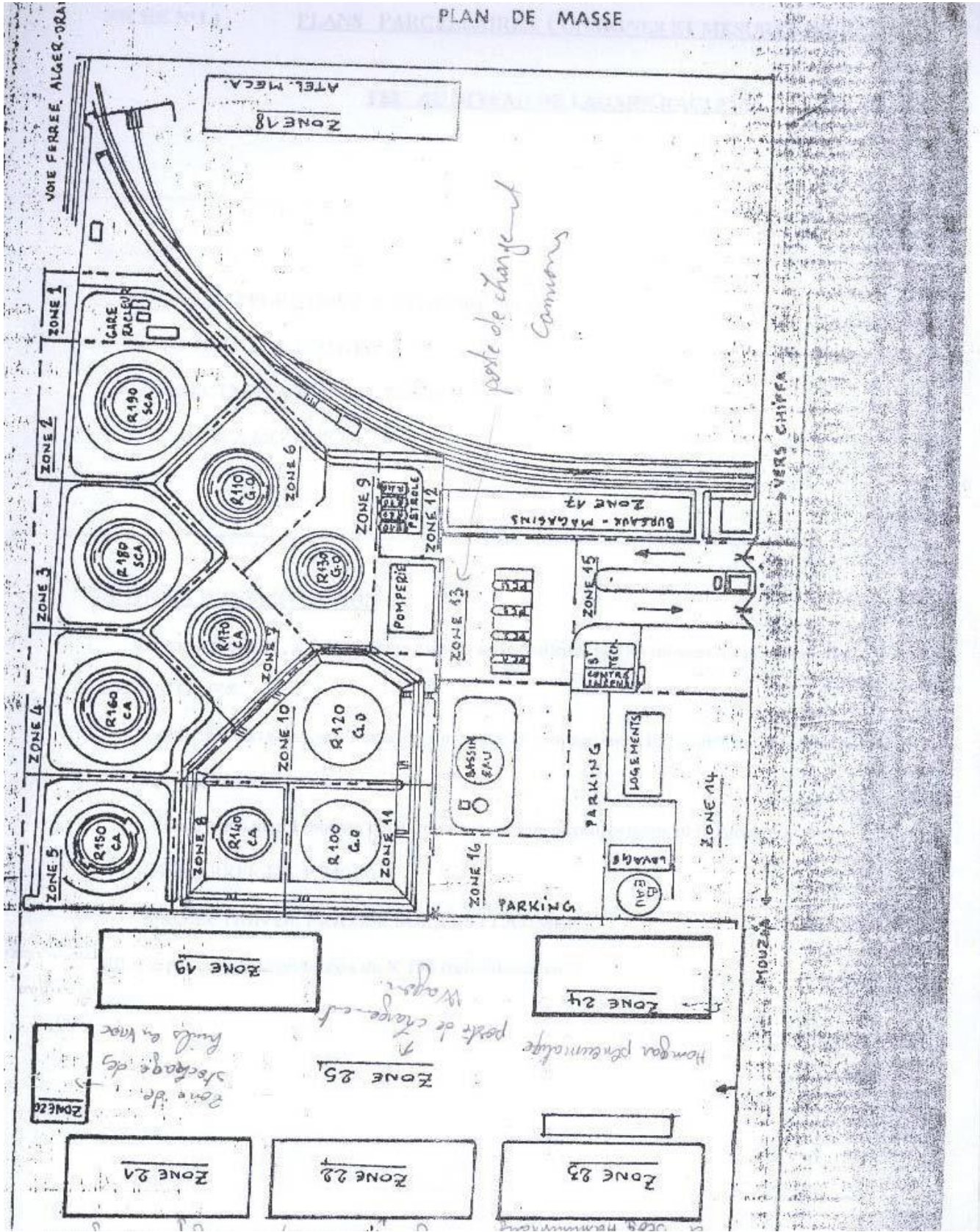


Figure 3.3. Plan de masse [4].

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

3.1.2. Description de l'installation :

1. Identification :

Le Centre de stockage et de distribution de carburant CDS CHIFFA 098 est un grand dépôt appartenant à l'entreprise nationale NAFTAL de part sa superficie et la capacité de stockage des divers produits pétroliers. Il est implanté à l'intérieur du site District BLIDA (Chiffa). Les produits stockés sont : l'essence (Super, Normal) et gasoil ; la capacité de stockage est de 33 720 m³. Le Centre est relié à la raffinerie d'Alger par une pipe de 10 pouces.

2. Activités exercées :

L'activité du CDS CHIFFA 098 est le stockage et la distribution des différents produits carburants au niveau de la wilaya de Blida et des Wilayas limitrophes.

Il abrite les installations suivantes :

- 10 bacs de stockage (capacité allant de 1200 à 10 000 m³), plus 4 cuves (capacité de 30 m³ chacun).
- 02 pomperies carburants.
- 01 gare de racleur arrivé.
- 01 salle pomperie incendie.
- 02 transformateurs électriques de 1 000 et 630 KVA.
- 01 forage plus château d'eau.
- 01 réseau d'eau.
- 01 réseau émulsifiant.
- 01 réseau d'eau de capacité 1 200 m³.
- 01 bâtiment technique avec salle de contrôle
- 01 laboratoire.
- 01 fosse de décantation servant à récupérer les produits rejetés.
- divers blocs administratifs plus magasins et ateliers.
- Salle de contrôle.

Personnel de sécurité :

- 01 inspecteur principal de sécurité

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

- 16 agents de sécurité travaillants en 24/24.

3. Liste des produits stockés et commercialisés :

Les produits stockés par le Centre CHIFFA sont :

- Le Gasoil : - 2 Bacs avec une capacité de 1 200m³ chacun.
- 2 Bacs avec une capacité de 10 000m³ chacun.
- C.A (Carburant Automobiles) : - 4 Bacs avec une capacité de 2 000m³
- 1 Bacs avec une capacité de 1 200m³
- S. C.A (Super Carburant Automobiles): - 1 Bacs avec une capacité de 2 000m³

4. Description pipe MP 10 :

Le CDS CHIFFA est alimenté en carburant (Essences Super et Normale, Gasoil) à partir de la raffinerie d'Alger de Sidi Arzine (commune de Barraki) par un pipe de 10 pouces.

5. Moyens de surveillance et d'intervention de la pipe:

Le district BLIDA (Chiffa) dispose pour la protection du pipe 10 pouces d'un service canalisation qui assure la surveillance et la maintenance selon les normes, plus une équipe d'intervention de la sécurité industrielle équipée d'un camion anti incendie et une ambulance. L'intervention en moyens humains et matériels pour la protection du pipe est assurée en second lieu par les services compétents de chaque localité de passage, par exemple : P/A.P.C., la protection civile, la Gendarmerie Nationale.

6. Caractéristiques techniques du MP 10 ” :

Oléoduc : souterrain

Produits véhiculés : multi produits GO Gasoil, S.C.A Super carburant auto, CA (carburant auto)

Terminal départ : raffinerie Alger RA1G (Sidi Arzine/Baraki), doté d'une gare racleur, de deux pompes d'expédition principales (G118A et G118B), de deux pompes de surpression (P117A) et P117B), de vannes motorisées, de deux compteurs de débit (un pour GO et un pour SCA/CA) et une soupape de sécurité tarée à 55 bars

Terminal arrivée : dépôt Chiffa 098, doté d'une gare racleur, de vannes motorisées, de deux compteurs de débit (un pour GO et un pour SCA/CA) et une soupape de sécurité tarée à 19,6 bars

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

Longueur totale : 47,320 km

Capacité totale : 2 518 m³

Epaisseur de l'acier : 6,35 mm

Ligne 10" APITLX 42

Débit d'expédition : GO : 370 m³/h Max, et 435 m³/h Max pour SCA et CA

Pression de départ : 55 à 70 bars

Pression d'arrivée : 1,5 à 4 bars

Date de mise en service : fin 1984

Revêtement : bitume

Postes de sectionnement : 04

Zonage du Centre de Chiffa :

Le Centre Chiffa est doté des équipements et infrastructures suivantes :

- Une arrivée pipe Terminal avec une gare racleur
- Un parc de stockage de produits pétroliers
- 04 Postes de déchargement routier.
- 02 Postes de chargement ferroviaire.
- Une pomperie de déchargement
- Une pomperie de chargement
- Locaux administratifs : bureaux, vestiaires et sanitaires
- Logements, cantine, cafétéria
- Ateliers, garage mécanique, magasins, etc.
- Transformateurs électriques.
- Salle de contrôle.

Ces équipements sont regroupés en zones :

- La zone 1 contient 4 bacs (R150, R160, R180, R190) de différentes capacités pour le stockage des produits tels que : Carburant Auto, Super Carburant Auto.
- La zone 2 contient 3 bacs (R170, R110, R130) de différentes capacités pour le stockage des produits tels que : Carburant Auto, Gasoil.
- La zone 3 contient 3 bacs (R100, R120, R140) de différentes capacités pour le stockage des produits tels que : Carburant Auto, Gasoil.
- La zone 20 : zone de stockage des huiles en vrac.

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

- La zone 21 : Hangar Lubrifiants.
- La zone 22, 23, 24 : Hangars pneumatiques.

Le parc de stockage est composé de :

SCA= Super Carburant Automobiles

Réservoir	Pro-duit	Capacité théo-rique (m3)	Capacité réelle (m3)	Date de cons-truction	Dimen-sions (m)	Type de toit
Réservoir N° R190	S.C.A	2000	1900	1942	D : 16 H : 11	Fixe
Réservoir N° R180	C.A	2000	1900	1982	D : 16 H : 11	Fixe
Réservoir N° R160	C.A	2000	1900	1942	D : 16 H : 11	Fixe
Réservoir N° R150	C.A	2000	1900	1942	D : 16 H : 11	Fixe
Réservoir N° R110		1200	1100	1983	D : 16.5 H : 14	HS ou non utilisé
Réservoir N° R170	C.A	1200	1100	1942	D : 13 H : 11	Fixe
Réservoir N° R140	C.A	2000	1900	1983	D : 16 H : 11	Fixe
Réservoir N° R130	GO	1200	1100	1983	D : 16.5 H : 14	
Réservoir N° R120	GO	10 290	9850	1983	D : 30 H : 14	Fixe
Réservoir N° R100	GO	10 290	9850	1983	D : 30 H : 14.56	Fixe

Tableau 3.1. Compositions de parc de stockage [4].

Des canalisations de différents diamètres relient les bacs aux pompes et aux bouches de chargement.

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

7. Remplissage camions et des wagons citernes :

Le centre est équipé de pompe de chargement pour camions et d'autres pour les wagons citernes. Chacune d'elles est équipée de bras de chargement. Chaque bras est destiné à un produit bien défini.

8. Les moyens de protections anti-incendie du poste de chargement wagon:

01 Extincteurs chariot à poudre 50 Kgs.

02 Clarinette de mousse.

01 Clarinette a eau.

01 poteau d'incendie.

01 Installation fixe à mousse.

9. La Réception du produit :

La réception des différents produits se fait par :

- pipe 10 pouces de la raffinerie d'Alger Sidi Arcine pour les multi produits existants.
- camions citernes.
- voie ferroviaire (Alger- Oran).

Les produits sont accompagnés d'un certificat de qualité délivré par le fournisseur. Chaque expédition programmée, fait l'objet d'un ordre d'expédition, à cet effet la raffinerie et le centre prennent toutes les dispositions pour le bon déroulement de toute l'opération. Un PV de réception est signé par les deux parties.

10. Stockage des produits :

Les produits réceptionnés sont stockés dans des bacs aériens de différentes capacités. Afin de déterminer les quantités de produits à réceptionner, un jaugeage des bacs est effectué par l'opérateur du Centre.

11. Transfert des produits :

Lors de l'approche des camions - citernes des postes de chargement, les chauffeurs, les agents des rampes ainsi que les agents de sécurité industrielle doivent suivre des consignes bien précises concernant :

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

- L'arrivée des camions aux postes de chargement et leurs vérifications (la citerne doit être vide, mise à la terre,...)
- Vérification des postes de chargement.
- Vérification des quantités à charger.

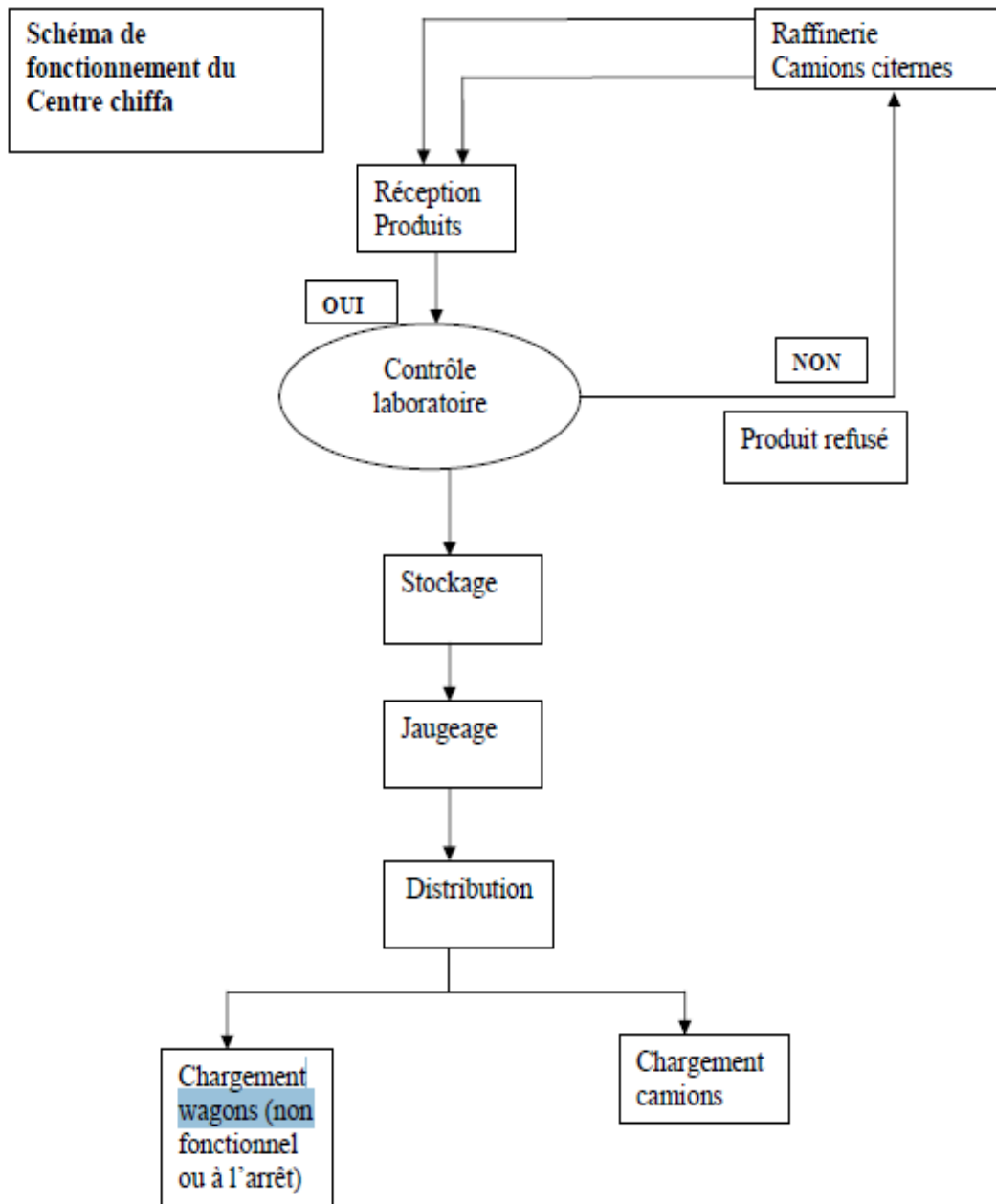


Figure 3.4. Schéma de fonctionnement du centre [4].

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

Les modèles corrélatifs (chapitre 02) de prédiction des caractéristiques de la flamme, du taux

Modèle considéré	Surface du bac Afire (m ²)	Dpool //Kpool (m)	Lflamme (m)	Inclinaison/verticale (°)	Φzéro (Kwatt/m ²) Données GTDLI[5]	Φzéro (Kwatt/m ²)
IT-89 sans vent	50	D=7.97	13.479400	0	30	29.72
		K=7.07	12.402340	0		29.72
IT-89 avec vent	50	D=7.97	10.03404	54.109102	30	29.72
		K=7.07	9.188131	55.0524010		29.72
TNO sans vent	50	D=7.97	13.479400	0	22.3	22.137420
		K=7.07	12.1402340	0		21.944640
TNO avec vent	50	D=7.97	10.034040	54.109120	25.12	23.895670
		K=7.07	9.188131	55.524010		23.688710
Mudan et Croce sans vent	50	D=7.97	13.479400	0	40	66.112860
		K=7.07	12.402340	0		71.371930
Mudan et Croce avec vent	50	D=7.97	10.034040	54.109120	40	66.112860
		K=7.07	9.188131	55.524010		71.37930

de dégagement de chaleur (HRR) et de la distribution spatiale du flux radiatif, ont fait l'objet d'une implémentation sous forme d'une programmation en Fortran (voir annexe). Cependant, la validation du programme par rapport à des résultats de référence (GTDLI), s'avère nécessaire avant toute application au cas du CDS-Chiffa.

3.2. Validation par rapport à un petit bac « 50m² » :

Tableau 3.2. Calculs validation par rapport à un « petit » bac (50m²)

Les écarts relatifs : $\Delta\Psi = (\Psi_{\text{calculée}} - \Psi_{\text{histogramme/tableau}}) / \Psi_{\text{histogramme/tableau}}$

Ψ : L_{flamme} ; Inclinaison ; Φ_{zéro}

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

Modèle considéré	L _{flamme} (m) « GTDLI »[5]	$\Delta\Psi$ L _{flamme} (%)	Inclinaison (°) « GTDLI »[5]	$\Delta\Psi$ Inclinaison (%)	$\Delta\Psi \Phi_{zéro}$ (%)
IT-89 sans vent	47	-71.3	00	0	Pour un bac rond : Err= -0.93 Pour un bac carré : Err=-0.93
		-73.6	00	0	
IT-89 avec vent	38	-73.5	30	80	
		-75.8	60	-8	
TNO sans vent	47	-71.3	00	0	Bac rond : Err=-0.72
		-73.6	00	0	Bac carré : Err=-1.59
TNO avec vent	38	-73.5	30	80	Bac rond = 5.5
		-75.8	60	-8	Bac carré =-6.6
Mudan et Croce sans vent	47	-71.3	00	0	Pour un bac rond : Err=65.2
		-73.6	00	0	
Mudan et Croce avec vent	38	-73.5	30	80	Pour un bac carré : Err=78
		-75.8	60	-8	

Tableau 3.3. Calculs des écarts relatifs

Le 1^{er} tableau “ validation par rapport à un « petit » bac (50m²)” indique que :

- Les valeurs de pouvoir émissif Φ_0 calculées par notre programme sont inférieures à celles de Données GTDLI ; sauf dans le modèle Mudan and Croce on remarque que les valeurs deviennent plus grandes.
- Les valeurs de la longueur de flamme sont plus élevées dans le cas “sans vent” dans tous les modèles considérés.
- Pour l’inclinaison de la flamme ; on remarque qu’elle existe seulement si la vitesse de vent est supérieure à 0.

Dans le 2^{ème} tableau on a calculé les écarts relatifs de chacun des Φ_0 , L_{flamme}, inclinaison, pour un bac “petit” (50 m²) ; afin de faire la comparaison avec les données de GTDLI.

- Pour $\Delta\Psi$ L_{flamme} (%) ; on remarque que toutes les valeurs sont négatives ce qui signifie que la valeur de Ψ L_{flamme} calculée est faible par rapport à la valeur de GTDLI.
- Les valeurs de $\Delta\Psi$ Inclinaison sont plus grandes dans le cas de bac rond.
- On remarque que la valeur de $\Delta\Psi \Phi_0$ varie tout dépend de la forme du bac et de modèles considérés.

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

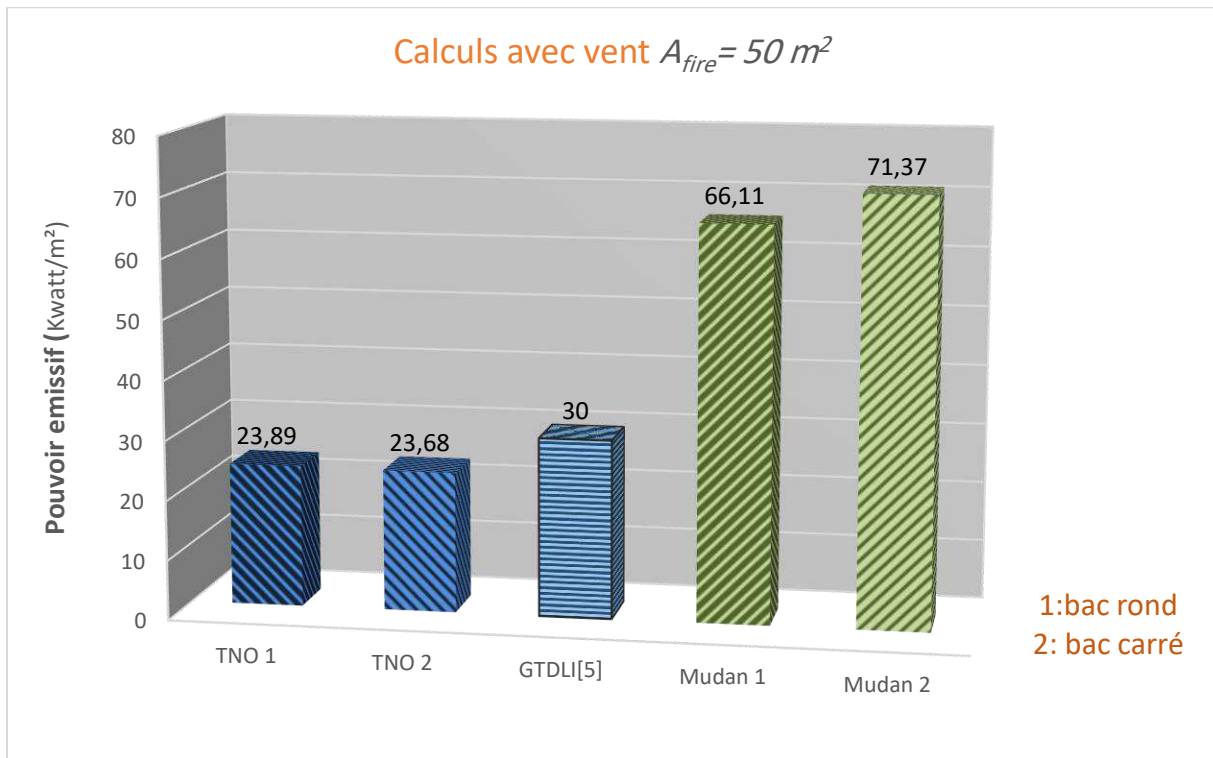


Figure 3.5. Calculs de pouvoir émissif ‘cas avec vent’ $A_{fire} = 50 m^2$ (modèle TNO, Mudan&Croce)

Modèle considéré	Surface du bac A_{fire} (m ²)	D _{pool} //K _{pool} (m)	L _{flamme} (m)	Inclinaison/verticale (°)	$\Phi_{zéro}$ (Kwatt/m ²) Données GTDLI [5]	$\Phi_{zéro}$ (Kwatt/m ²)
IT-89 sans vent	2400	D=55.28	51.789520	0	30	29.72
		K=48.98	47.612410	0		29.72
IT-89 avec vent	2400	D=55.28	41.657330	27.047900	30	29.72
		K=48.98	38.112520	28.764570		29.72
TNO sans vent	2400	D=55.28	51.789520	0	24.8	26.038580
		K=48.98	47.612410	0		25.749270
TNO avec vent	2400	D=55.28	41.657330	27.047900	27.6	27.87200
		K=48.98	38.112520	28.764570		27.588460
Mudan et Groce sans vent	2400	D=55.28	51.789520	0	20	20.157850
		K=48.98	47.612410	0		20.336180
Mudan et Groce avec vent	2400	D=55.28	41.657330	27.047900	20	20.157850
		K=48.98	38.112520	28.764570		20.336180

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

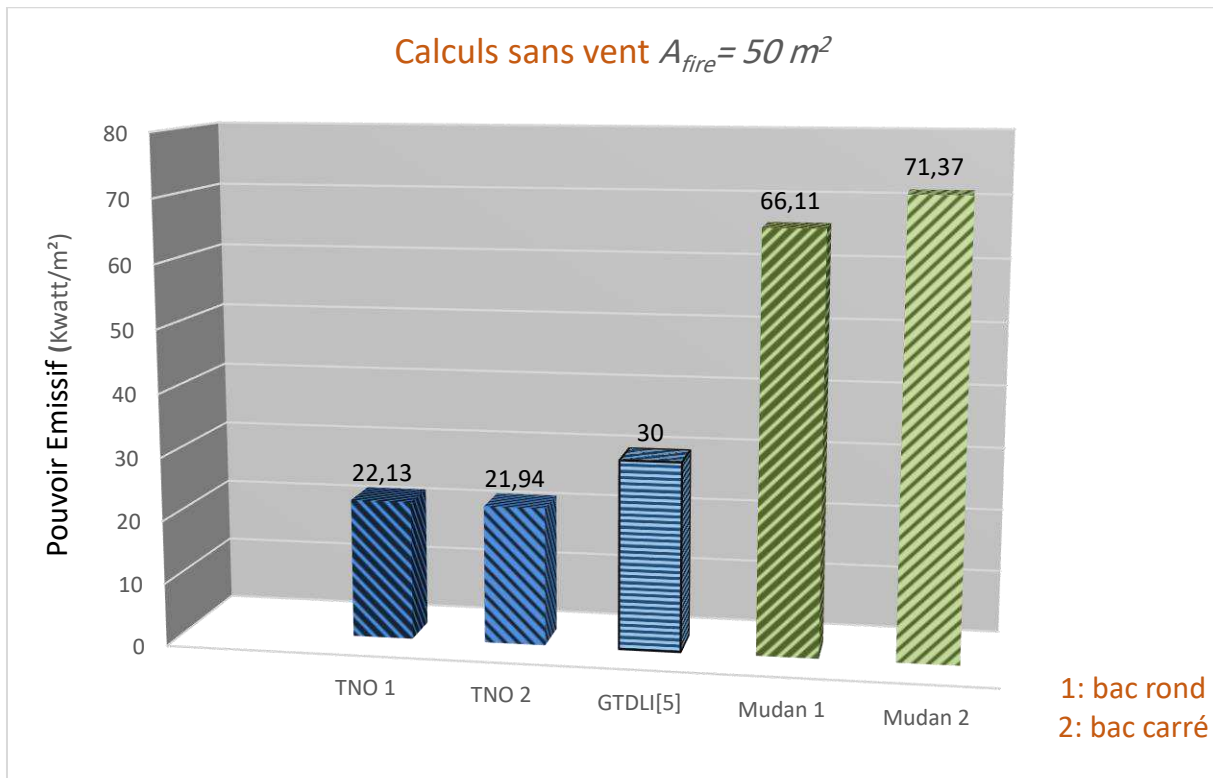


Figure 3.6. Calculs de pouvoir émissif "cas sans vent" $A_{fire} = 50 m^2$ (modèle TNO, Mudan&Croce)

3.3 Validation par rapport à un « grand » bac (2400 m²) :

Tableau 3.4. Validation par rapport à un « grand » bac (2400 m²)

Les écarts relatifs : $\Delta\Psi = (\Psi_{calculée} - \Psi_{histogramme/tableau}) / \Psi_{histogramme/tableau}$

Ψ : L_{flamme} ; Inclinaison ; $\Phi_{zéro}$

Modèle considéré	$L_{flamme}(m)$ « GTDLI » [5]	$\Delta\Psi$ $L_{flamme}(\%)$	Inclinaison(°) « GTDLI » [5]	$\Delta\Psi$ Inclinaison (%)	$\Delta\Psi \Phi_{zéro}(\%)$
IT-89 sans vent	47	10	00	0	Pour un bac rond : Err= -0.93 Pour un bac carré : Err=-0.93
		1.3	00	0	
IT-89 avec vent	38	9.6	30	-9.8	
		0.2	60	-52	
TNO sans vent	47	10	00	0	Bac rond :4.7
		1.3	00	0	Bac carré : 3.6

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

TNO avec vent	38	9.6	30	-9.8	Bac rond :0.97
		0.2	60	-52	Bac carré : 0.21
Mudan et Groce avec vent	47	10	00	0	Pour un bac rond : Err= 0.78 Pour un bac carré : Err=1.68
		1.3	00	0	
Mudan et Groce avec vent	38	9.6	30	-9.8	
		0.2	60	-52	

Tableau 3.5. Calculs des écarts relatifs

Le 1^{er} tableau “ Validation par rapport à un « grand » bac (2400 m²)” indique que :

- Les valeurs de la longueur de flamme sont plus élevées dans le cas “sans vent” dans tous les modèles considérés.
- Pour l’inclinaison de la flamme ; on remarque qu’elle existe seulement si la vitesse de vent est supérieure à 0.
- Pour le pouvoir émissif Φ_0 , on remarque une variation des valeurs dans chaque modèle ; mais en générale les valeurs calculées par notre programme sont proches de celles de GTDLI surtout dans les corrélations It-89 et Mudan and Croce.

Dans le 2^{ème} tableau on a calculé les écarts relatifs de chacun des Φ_0 , L_{flamme}, inclinaison, pour un bac “grand” (2400 m²) ; afin de faire la comparaison avec les données de GTDLI.

- Pour $\Delta\Psi L_{flamme} (\%)$; on remarque que toutes les valeurs sont positives, ce qui signifie que la valeur de ΨL_{flamme} calculée est supérieure à la valeur de GTDLI.
- Les valeurs de $\Delta\Psi$ Inclinaison sont nulles “sans vent” et négatives dans le cas “avec vent”.
- On remarque que la valeur de $\Delta\Psi \Phi_0$ varie tout dépend de la forme du bac et de modèles considérés

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

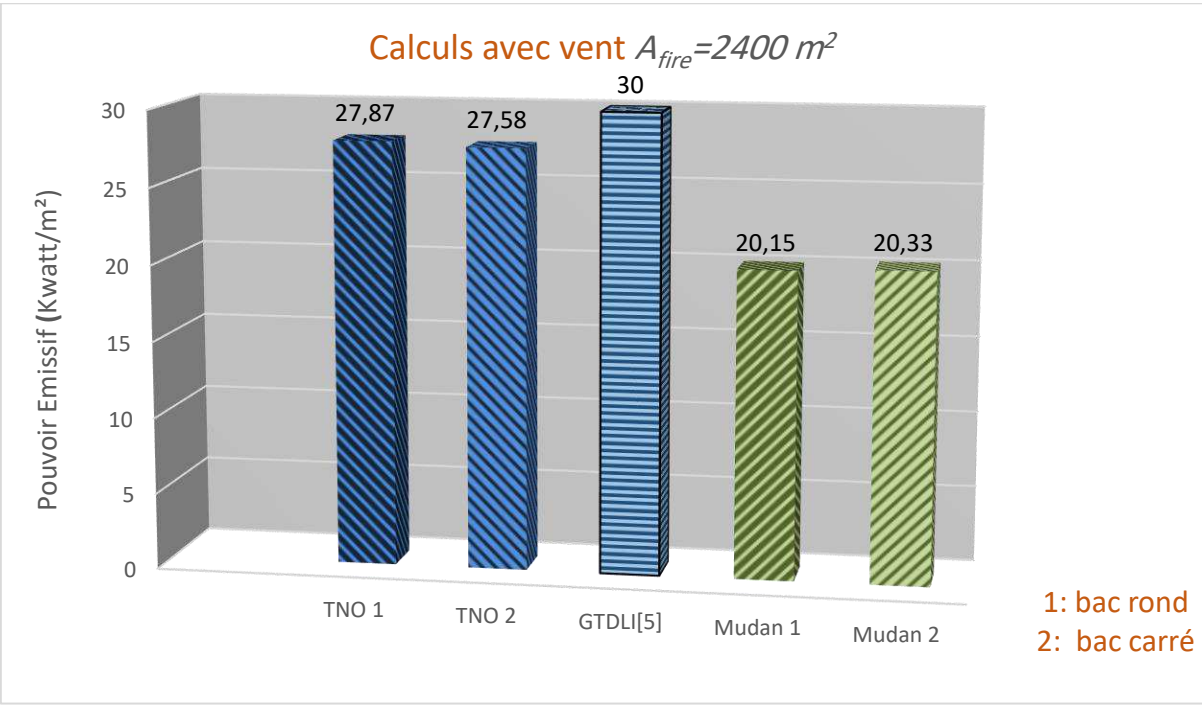


Figure 3.7. Calculs de pouvoir émissif ‘cas avec vent ‘ $A_{fire} = 2400 \text{ m}^2$ (modèle TNO, Mudan&Croce)

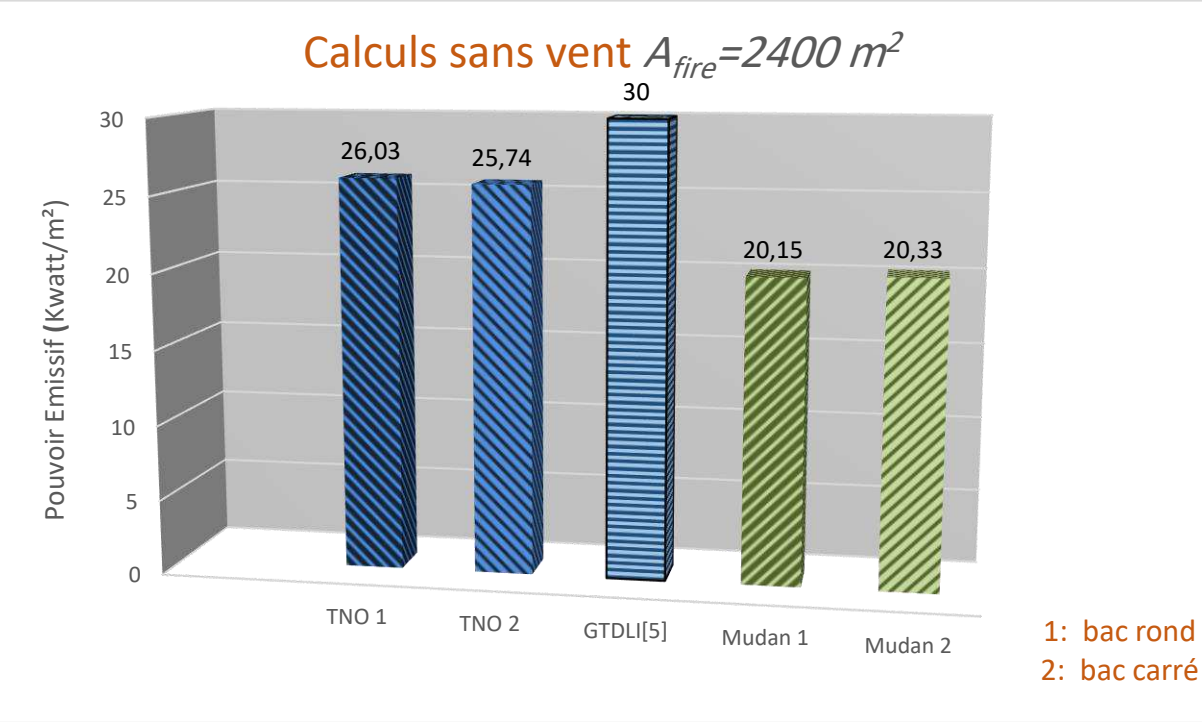


Figure 3.8. Calculs de pouvoir émissif ‘cas sans vent ‘ $A_{fire} = 2400 \text{ m}^2$ (modèle TNO, Mudan&Croce)

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

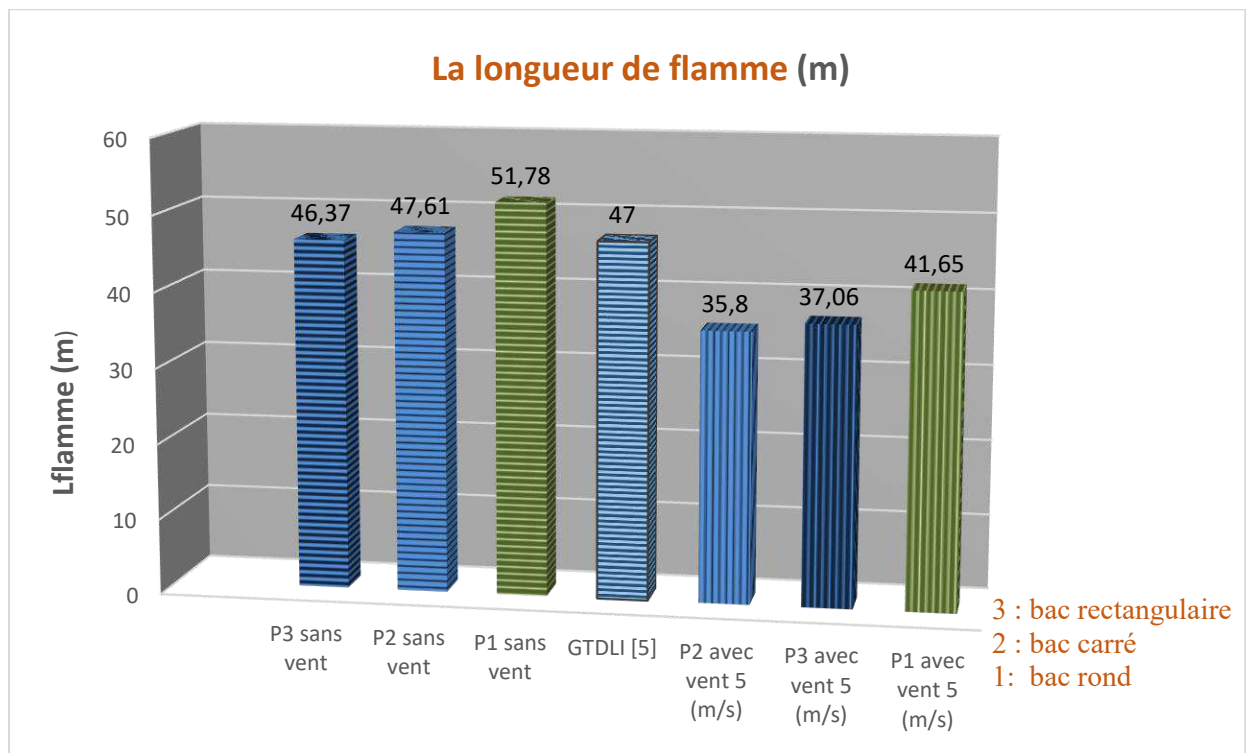


Figure 3.9. Prédiction de la longueur de flamme.

3.4 Effet des modèles sur le facteur de vue :

Le facteur de vue est purement géométrique, ce facteur traduit en définitive l'angle solide sous lequel la cible perçoit la flamme. C'est un coefficient sans dimensions ($F_{vue} \leq 1$) ; il faisait intervenir les distances de la cible au feu, les dimensions de la cible et les dimensions et inclinaison de la flamme.

En $r = 0$ le F_{vue} n'a aucun sens, car $r=0$ est la source de feu qui veut dire cible = non physique. Plus on s'éloigne de la source de feu (bac) ; plus il y a atténuation de flux par rayonnement (feu devient petit). F_v max à $x = 0+\Delta x$ et F_v min à $x = 100$ m

Dans nos calculs on a évalué le facteur de vue avec 5 modèles :

- Modèle flamme cylindrique.
- Modèle flamme plane ou mur de flamme.
- Modèle flamme It-89.
- Modèle corrélations flamme cylindrique.
- Modèle corrélations flamme plane ou mur de flamme.

On a appliqué ces modèles avec les hypothèses suivantes :

- Les deux cas sans et avec vent (5 m/s).

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

- Cas d'un bac cylindrique de 55.28 m de diamètre et 11 m de hauteur.
- Cas d'un bac carré de 48.99 m de diamètre et 11 m de hauteur.
- Cas d'un bac rectangulaire de 65 m de longueur ,37 m de largeur et 11 m de hauteur.

Remarque :

Selon les valeurs de L_{flamme} on peut constater qu'elle dépend de la forme du bac et la vitesse du vent.

La longueur de la flamme au bac rond, carrée et rectangulaire est toujours la même dans toutes les corrélations considérées, soit au cas sans vent ou bien avec vent ; sachant que quand la vitesse du vent est nulle la valeur de L_{flamme} est supérieure à autre valeur à la présence du vent.

Les courbes suivantes représentent l'évolution de facteur de vue en fonction de la distance entre la cible et le front de flamme.

Les courbes représentent des fonctions décroissantes, On remarque que plus on s'éloigne de la source de feu, plus les valeurs de facteur de vue deviennent petites.

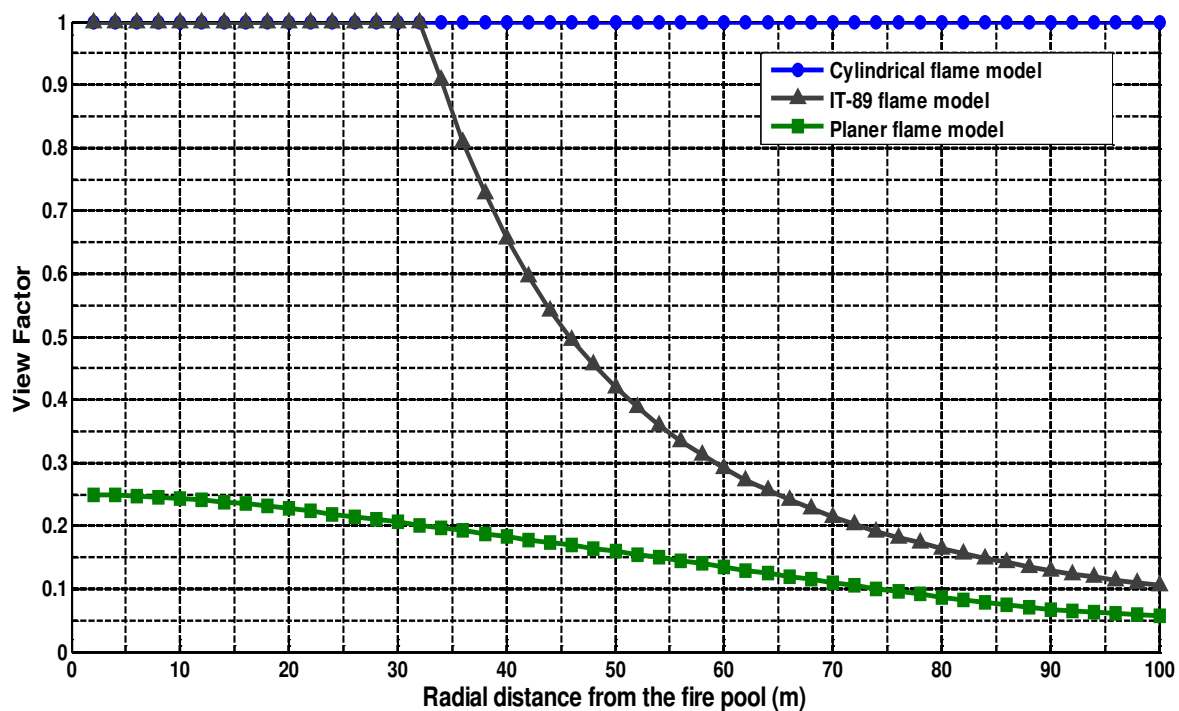
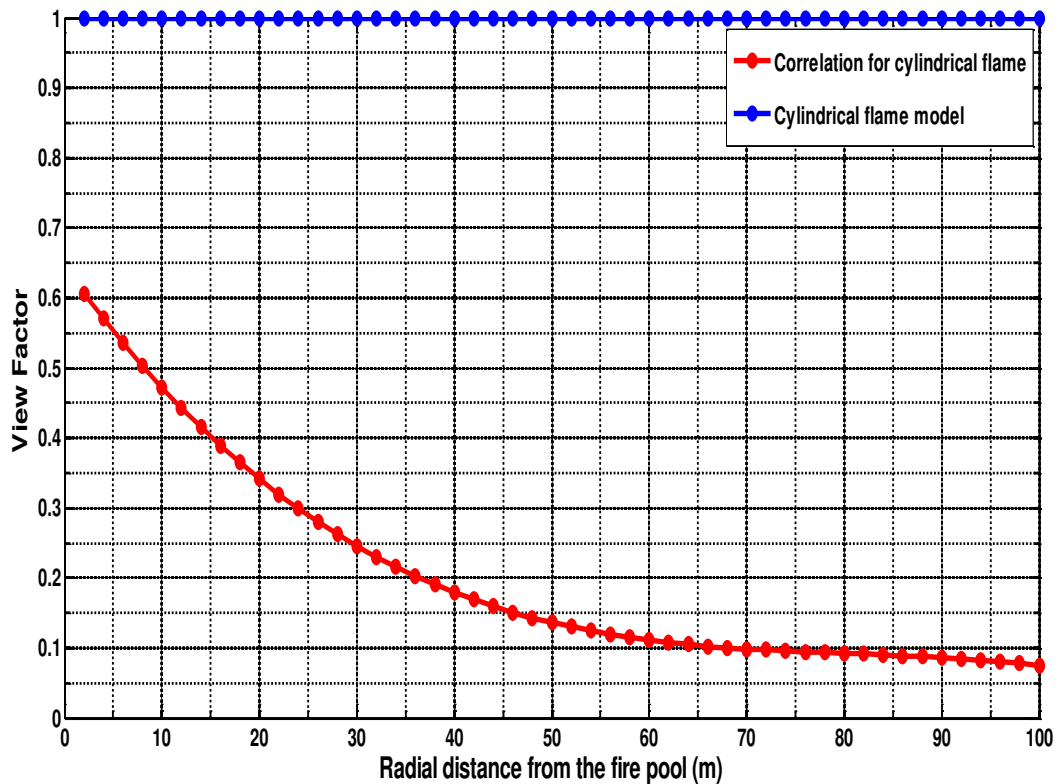


Figure 3.10. Facteur de vue (modèles : f.cylindrique +f.plane + IT-89) en fonction de la distance.

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

D'après la figure (3.10), les facteurs de vue cylindrique sont nettement supérieurs aux autres facteurs de vue de It-89 et de flamme plane.



. **Figure 3.11.** Facteur de vue de corrélations (Cylindrique + Plane) en fonction de la distance.

La figure (3.11) montre les valeurs de facteur de vue de modèle corrélatif de flamme cylindrique sont plus grand que les valeurs de le modèle corrélatif de flamme plane. Sauf que dans l'intervalle [35 ,60] les valeurs des deux modèles corrélatifs sont convergentes.

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

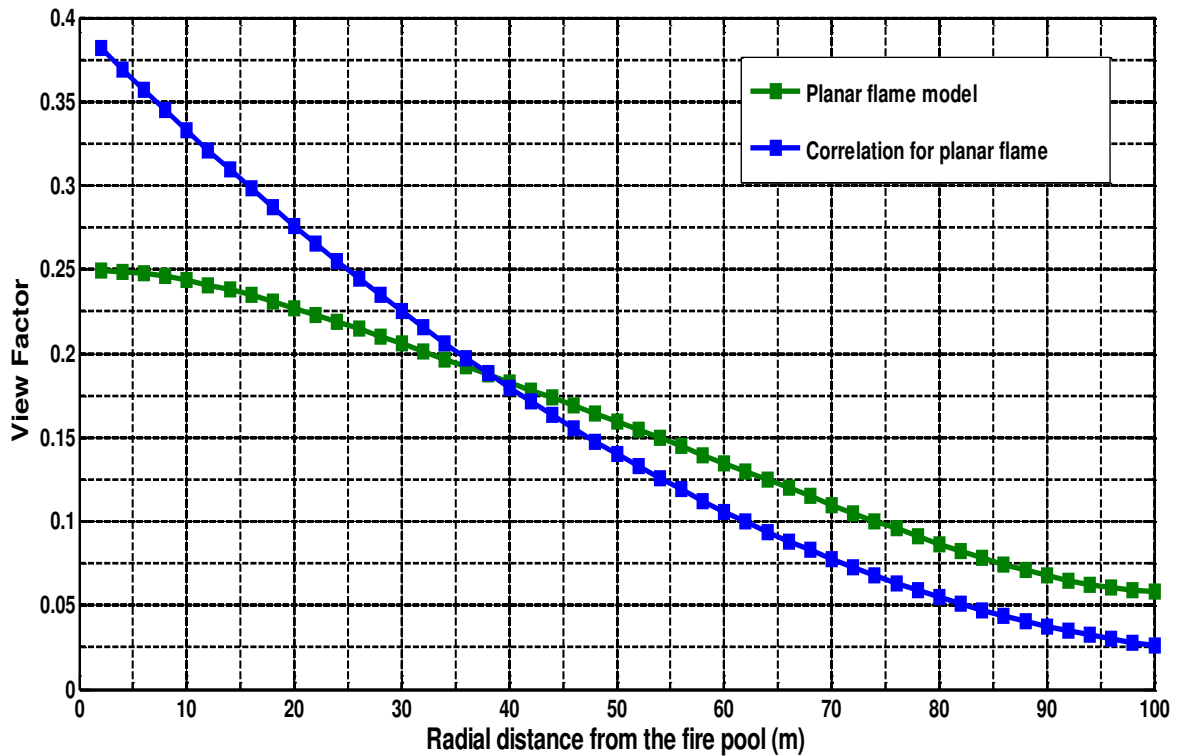


Figure 3.12. Facteur de vue (corrélation plane + Plane modèle)..

Dans cette figure on remarque que :

De 0 à 38 mètres les facteurs de vue de modèle corrélatif de la flamme plane (développé par nous) sont supérieurs aux autres facteurs de modèle de flamme plane.

A $r=38$ mètres les facteurs de vue des deux cas sont égaux.

De 38 à 100 mètres les facteurs de vue de modèle de flamme plane devenue supérieurs aux autres facteurs de modèle corrélatif.

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

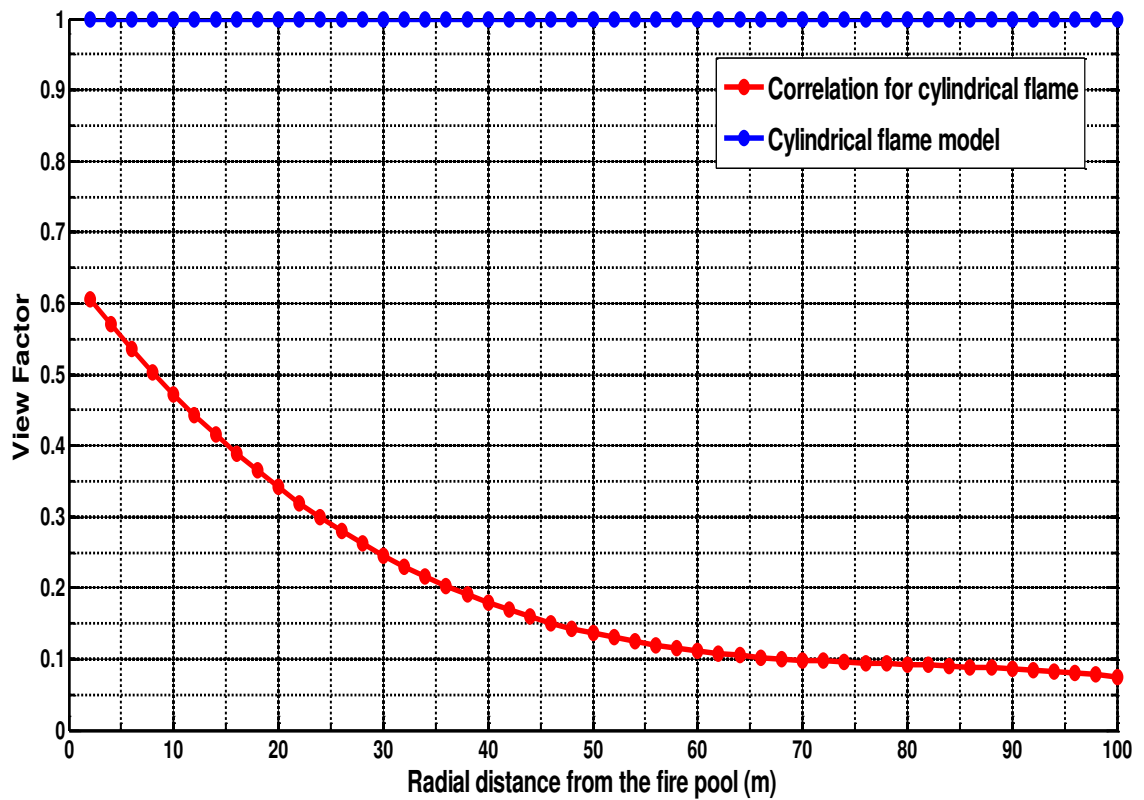


Figure 3.13. Facteur de vue (corrélation cylindrique +modèle cylindrique) en fonction de la distance.

La figure représente les facteurs de vue cylindrique qui sont nettement supérieurs aux autres facteurs de vue de modèle corrélatif de flamme cylindrique.

Les formules de $f_{cylindrique}$ donnent des valeurs de facteur de vue qui sont supérieures à 1. Pour la présentation graphique, ces valeurs ont été fixées à 1.

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

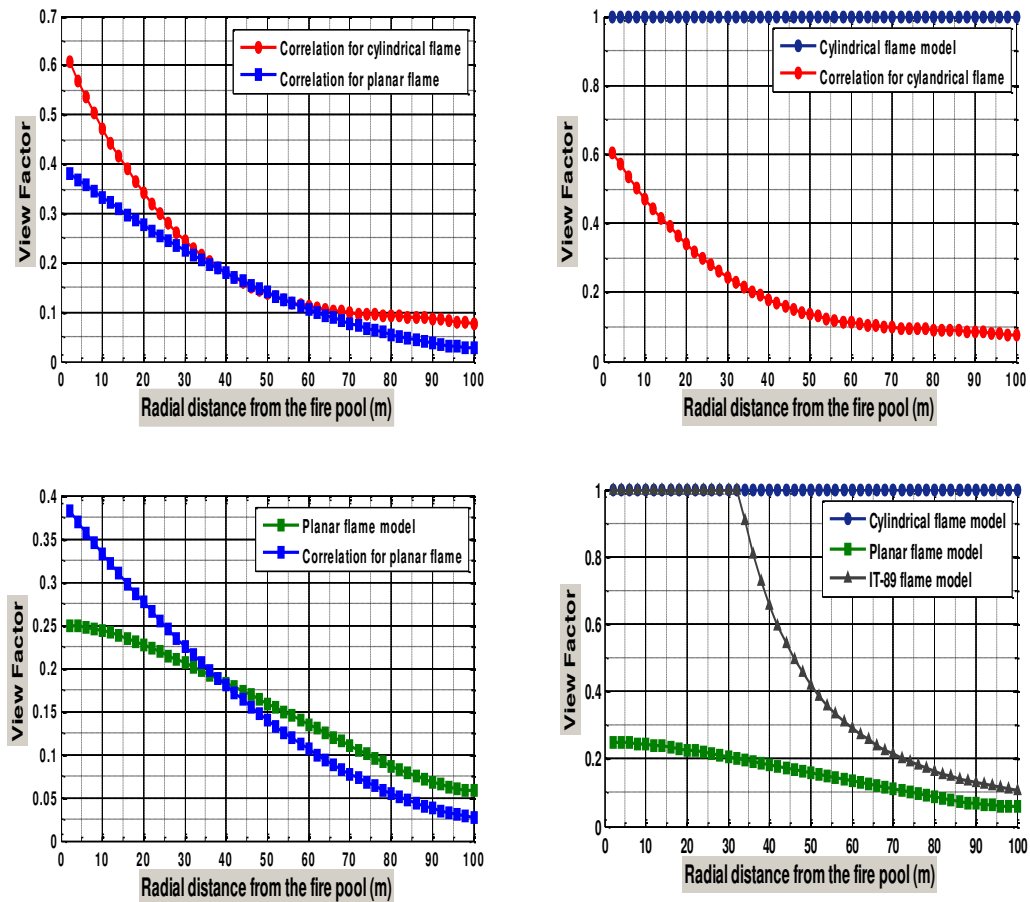


Figure 3.14. Les corrélations du Facteur de vue

3.5. Effet des modèles sur le facteur d'atténuation :

Les graphiques suivants représentent l'évolution de facteur d'atténuation atmosphérique en fonction de la distance entre la cible et le front de flamme. Les courbes représentent des fonctions décroissantes, On remarque que plus on s'éloigne de la source de feu, plus les valeurs de la transmittivité atmosphérique deviennent petites.

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

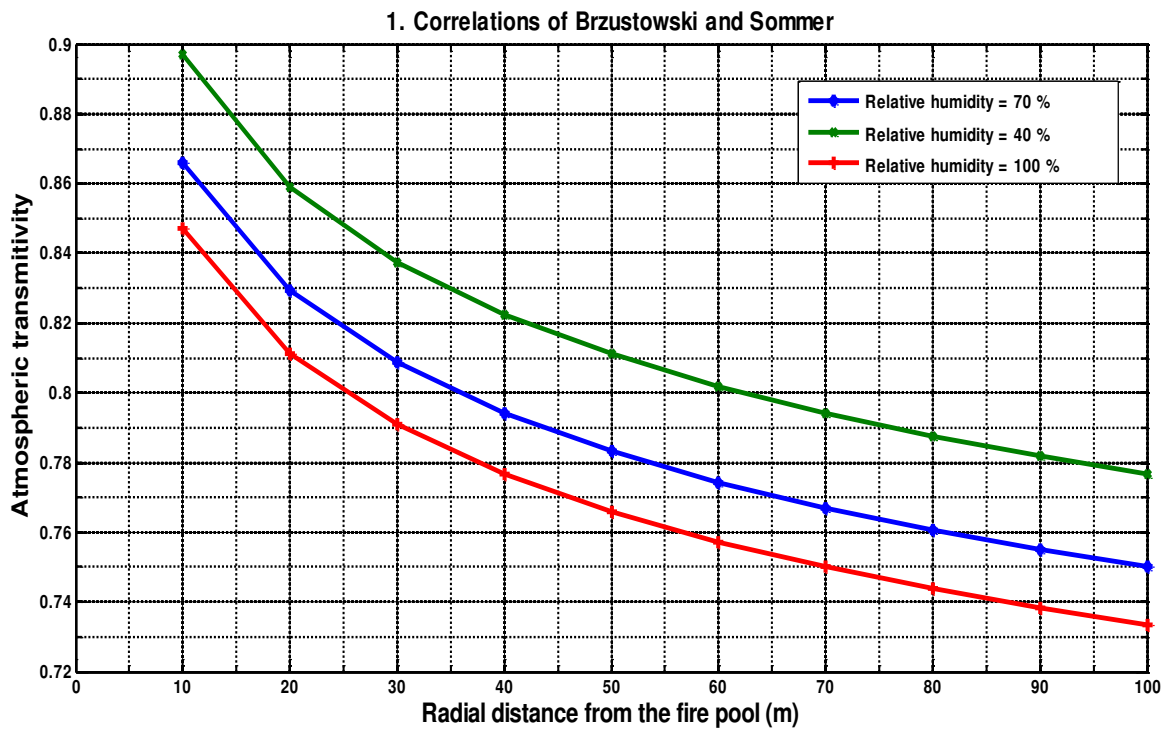


Figure 3.15. Facteur d'atténuation (modèle de Brzustowski & Sommer) atmosphérique en fonction de la distance, pour RH= 40%, 70%,100 %

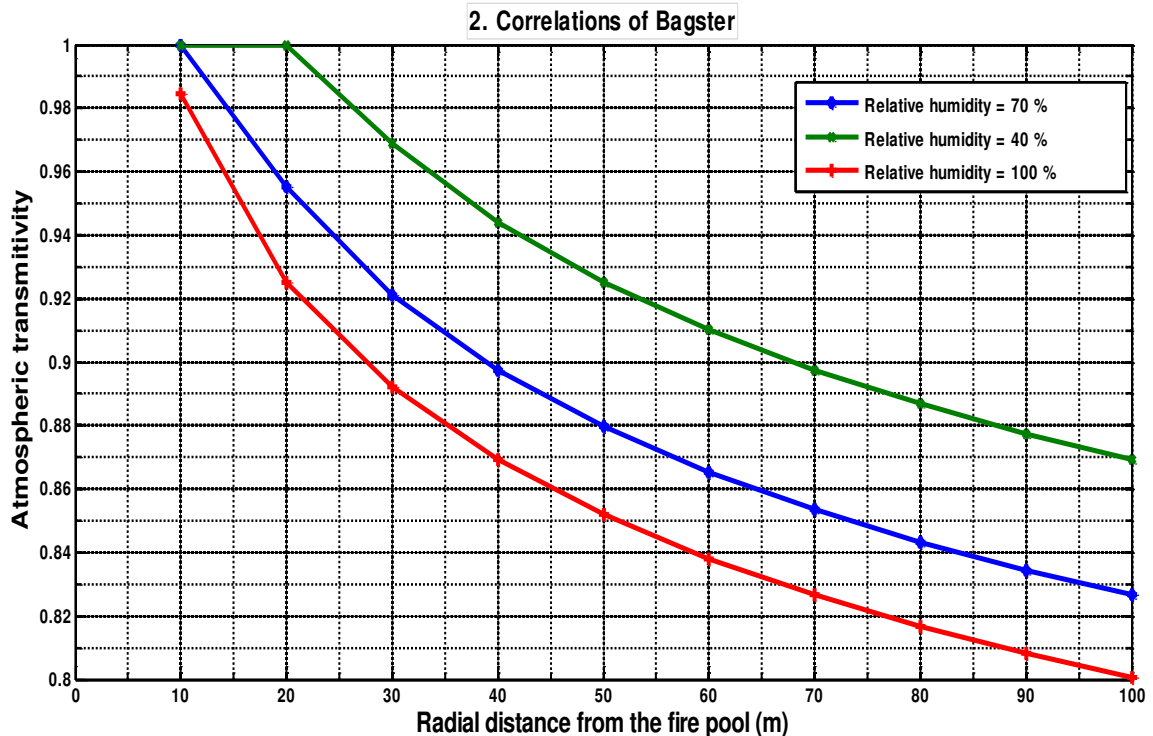


Figure 3.16. Facteur d'atténuation (modèle de Bagster) atmosphérique en fonction de la distance, pour RH= 40%, 70%,100 %

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

D'après ces comparatifs on remarque que dans les deux corrélations de (Bagster et Brzustwsi & Sommer) parmi les trois taux d'humidité de l'air les valeurs de facteur de transmittivité quand l'humidité relative égale à 100% sont les plus petites par rapport aux autres valeurs.

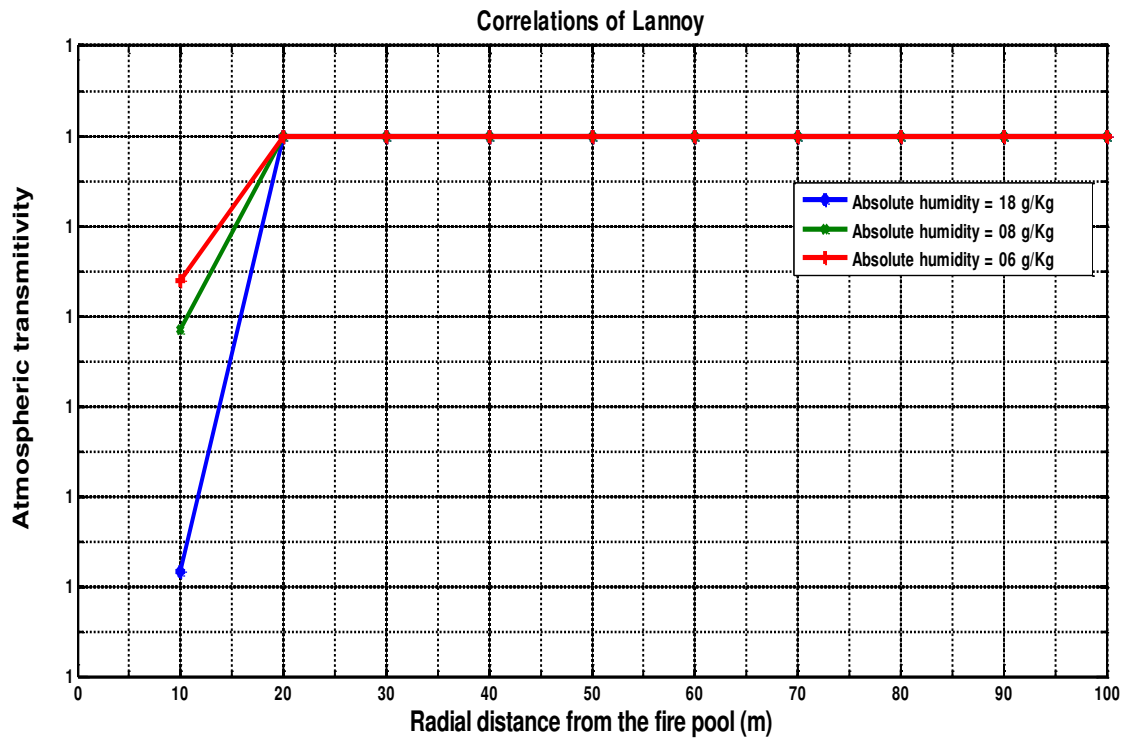


Figure 3.17. Facteur d'atténuation atmosphérique en fonction de la distance "Corrélation de Lannoy" "RA (18, 08,06) g/kg".

Cette courbe montre l'influence de la valeur d'humidité absolue sur les valeurs de facteur de transmittivité atmosphérique. On remarque que de 10 à 20m les valeurs des trois corrélations atteignent un maximum avant la stagnation à 1.

3.5.1 Effet de la température de l'air extérieur :

Les courbes suivantes représentent l'effet de température sur les différents modèles de calculs de transmittivité atmosphérique.

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

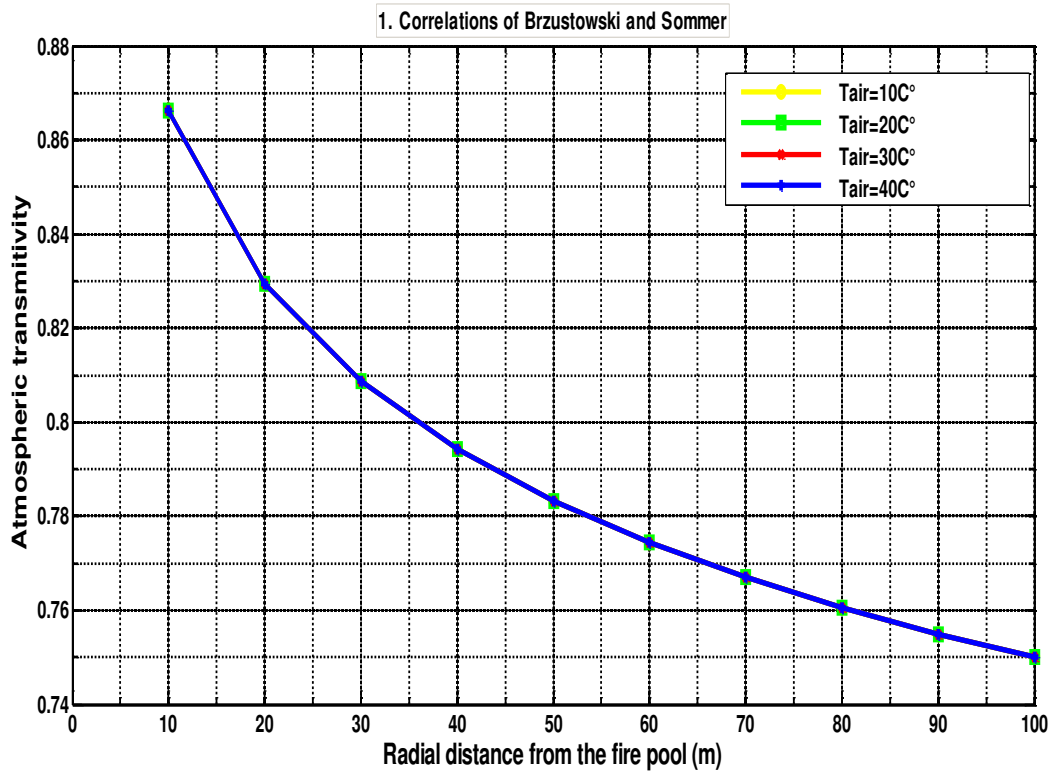


Figure 3.18. Facteur d'atténuation atmosphérique 'Corrélation de Brzustowski and sommer''
 " Tair (10, 20, 30,40) C°.

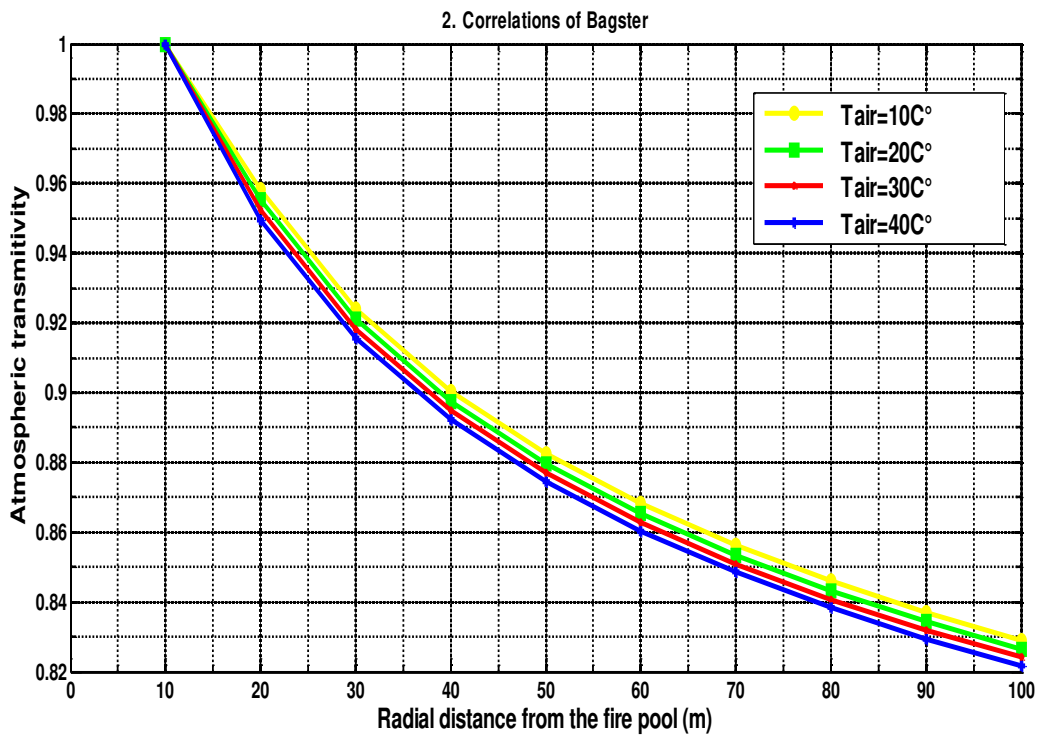


Figure 3.19. Facteur d'atténuation atmosphérique de Bagster'' pour Tair (10, 20, 30,40) C°.

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

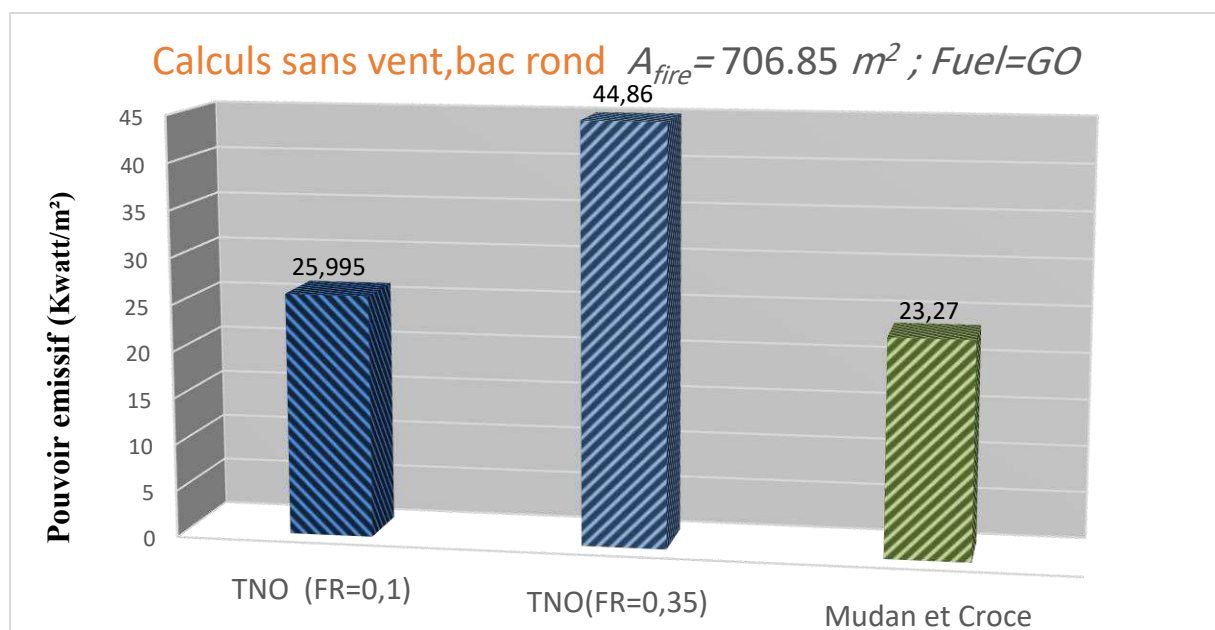
L'influence des paramètres, température et humidité de l'air, ont été testés et ils ont ressort les conclusions suivantes :

- Pour les modèles de Brzustowski et Sommer et de Bagster, la valeur de l'humidité n'a que peu d'influence sur le facteur de transmittivité atmosphérique. En revanche, pour le modèle de Lannoy, il convient de spécifier l'humidité absolue du site.
- Pour l'ensemble des modèle exceptés Brzustowski et Sommer qui est indépendant de la température, une variation de 20C° a un impact sur 10% sur la valeur de transmittivité atmosphérique.

3.6. Calculs pour le cas d'un bac Diesel (Scénario 1) :

Dans le premier scénario on a fait les calculs de bac R100 (GO) (D=30m et H=14.5m).

- Le FR a un effet clair sur le pouvoir émissif ; on remarque que quand le FR a changé de 0.1 à 0.35 dans la corrélation de TNO la valeur de fizéro a considérablement augmenté ; donc le FR à un effet important sur fizéro.
- Dans ce scénario l'inclinaison existe dans les deux modèles (TNO et Mudan and Croce) avec vent mais la valeur de l'inclinaison est nulle dans le cas sans vent (l'absence du vent affecte l'inclinaison) et on sait que le vent perturbe non seulement la géométrie de la flamme mais également son comportement radiatif.
- On ne peut pas négliger l'effet de la forme du pool car on remarque une différence de valeur quand on part d'un bac rond à un bac carré qui veut dire le bac à un effet important.



CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

Figure 3.20. Calculs de pouvoir émissif “ bac de Gasoil, (modèle TNO, Mudan & Croce).

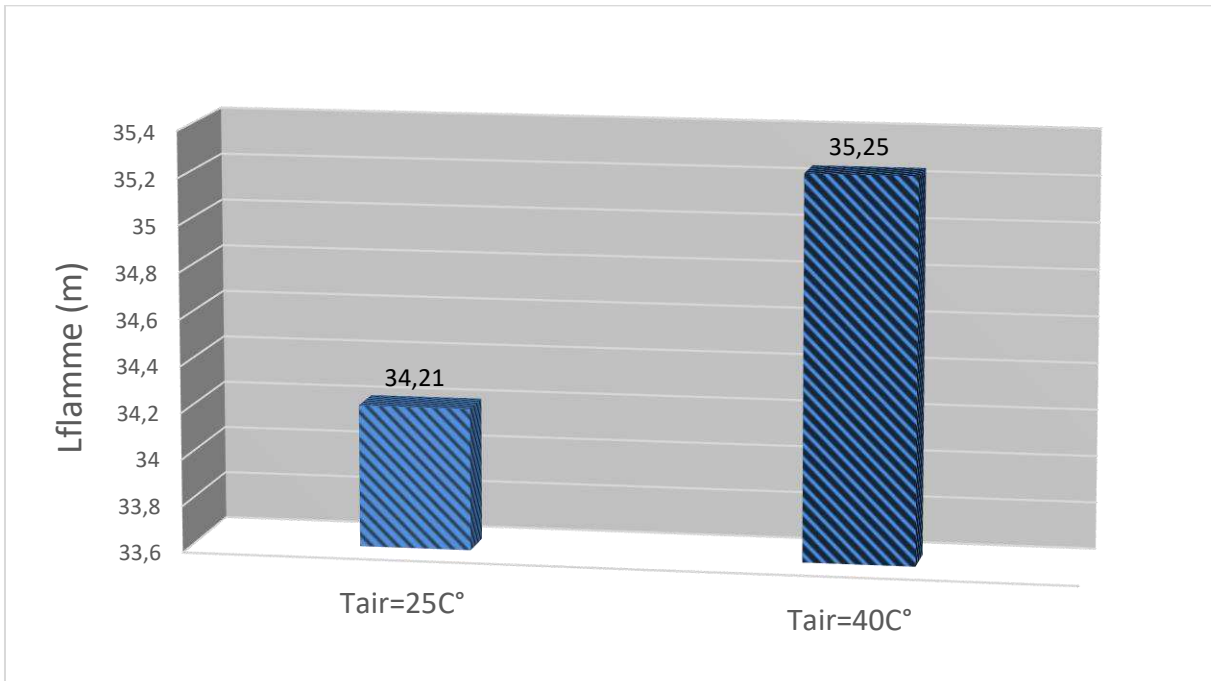


Figure 3.21. La longueur de flamme pour deux températures limites de T_{air}.

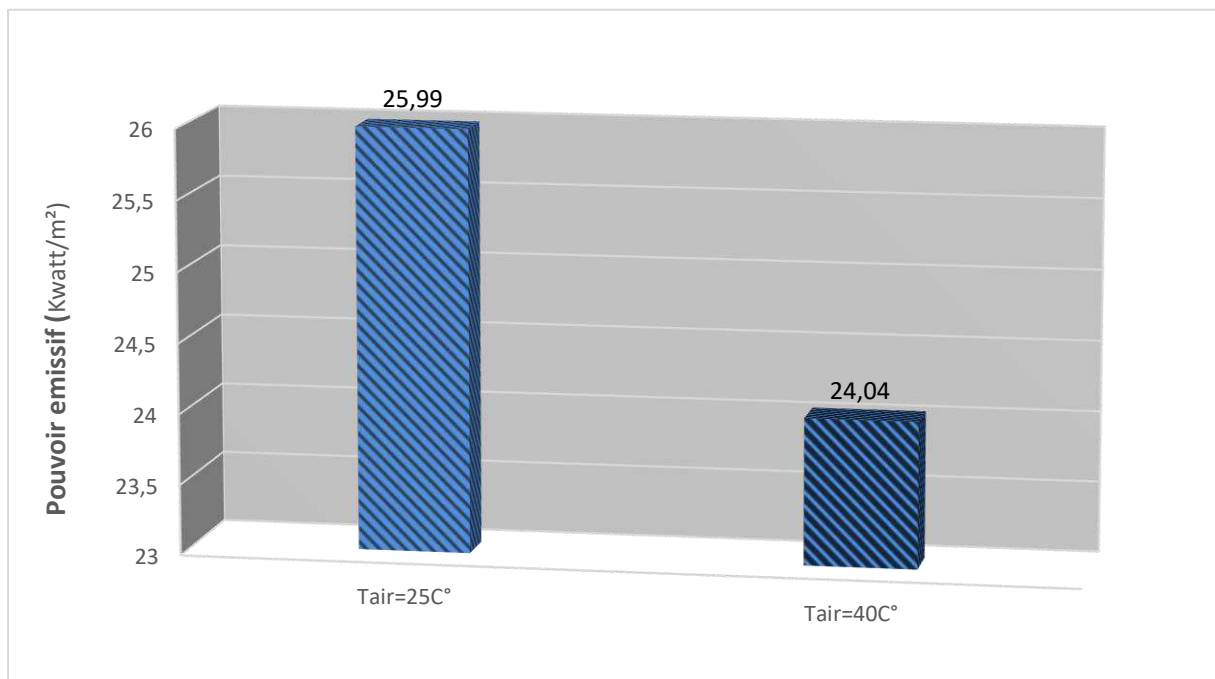


Figure 3.22. Le pouvoir émissif pour deux températures limites de T_{air}.

Après avoir changé la température de 25C° à 40C° l'effet de T_{air} devient plus clair car

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

l'augmentation de la valeur de L_{flamme} est considérablement remarquée ; par contre pour le pouvoir émissif on trouve un abaissement de valeur à cause de l'augmentation de la température.

3.7. Calculs pour le cas d'un bac Essence Super (Scénario 2)

Dans le deuxième scénario on a fait les calculs de bac R150 (ESS Super) (D=16m et H=11m).

- On remarque que la valeur de L_{flamme} dans le cas d'un bac rond est toujours supérieure à L_{flamme} dans le cas d'un bac carré ; alors la forme de pool a un effet sur la hauteur de flamme.
- Dans ce scénario l'effet de vent est aussi clair sur l'angle d'inclinaison car la valeur d'inclinaison augmente de 0 dans le cas sans vent à 44.8 et 46.48 dans les cas avec vents.
- On remarque que quand on change la valeur de Fr dans la corrélation de TNO La valeur de pouvoir émissif augmente ; cela nous assure le rôle de Fr sur Fizéro.

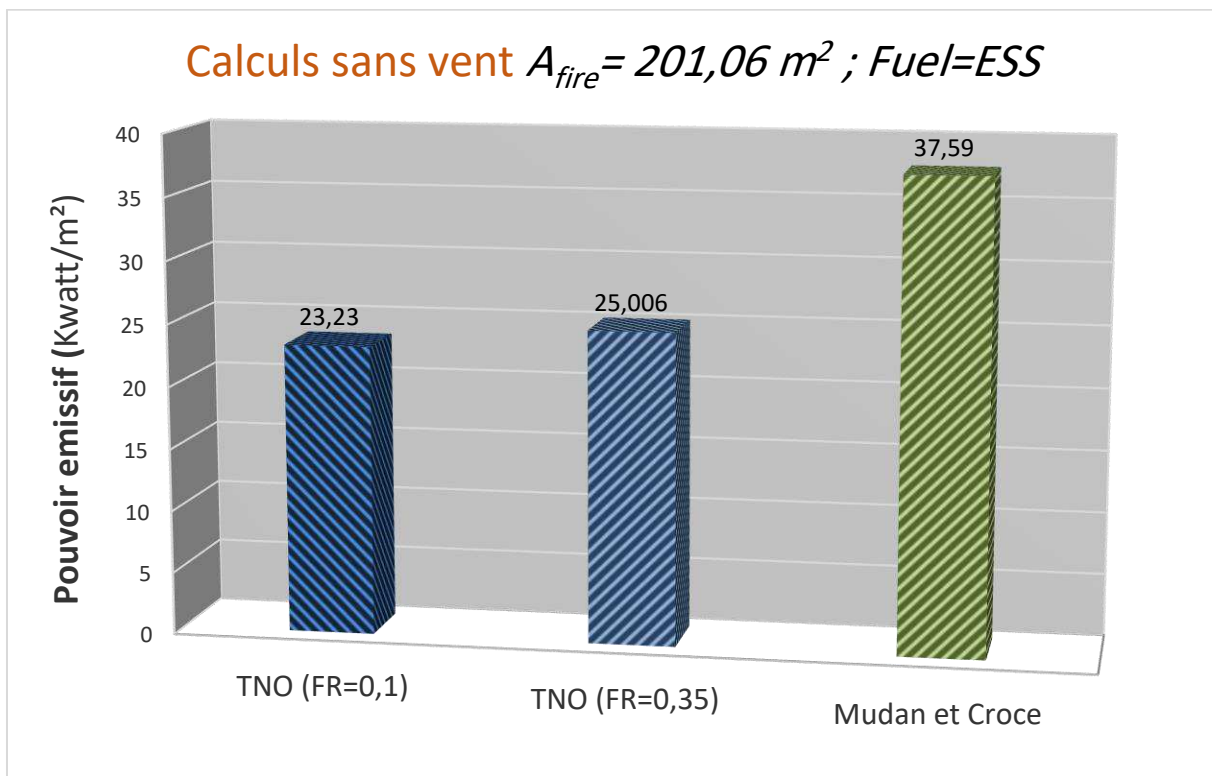


Figure 3.23. Calculs du pouvoir émissif (modèle TNO, Mudan & Croce).

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

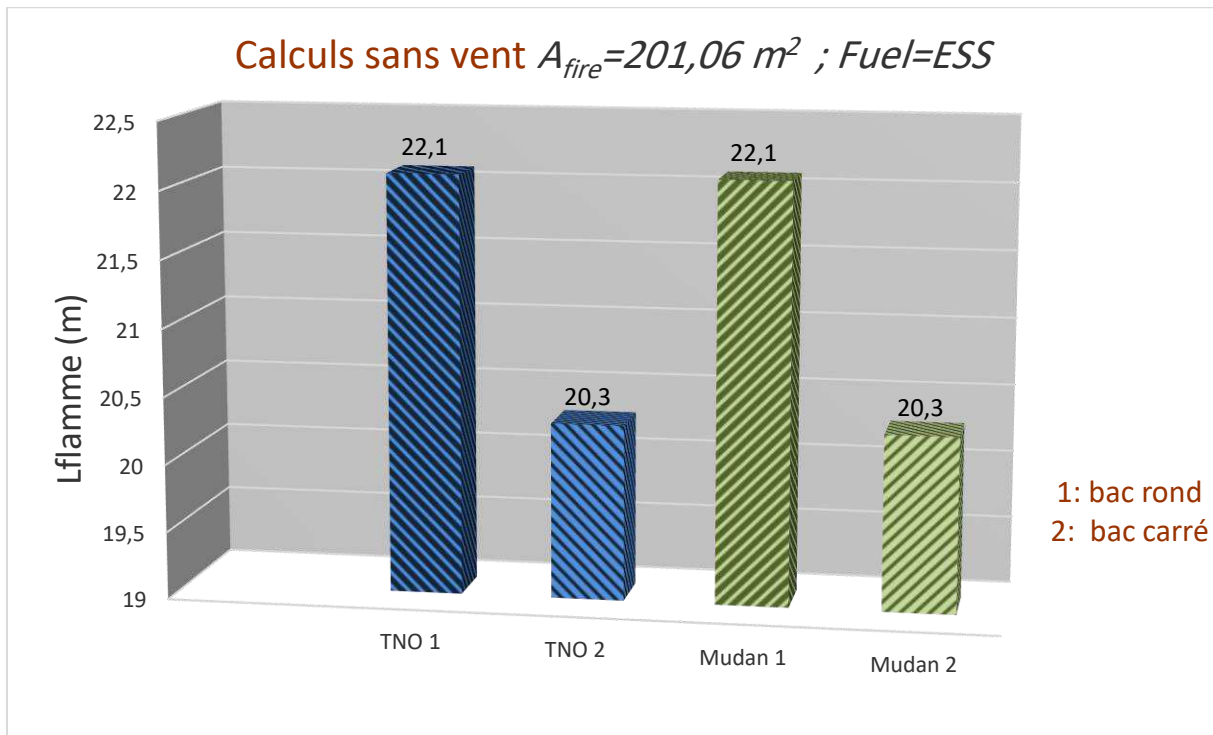


Figure 3.24. Calculs de longueur de flamme “cas sans vent ” $A_{fire} = 201.06m^2$.

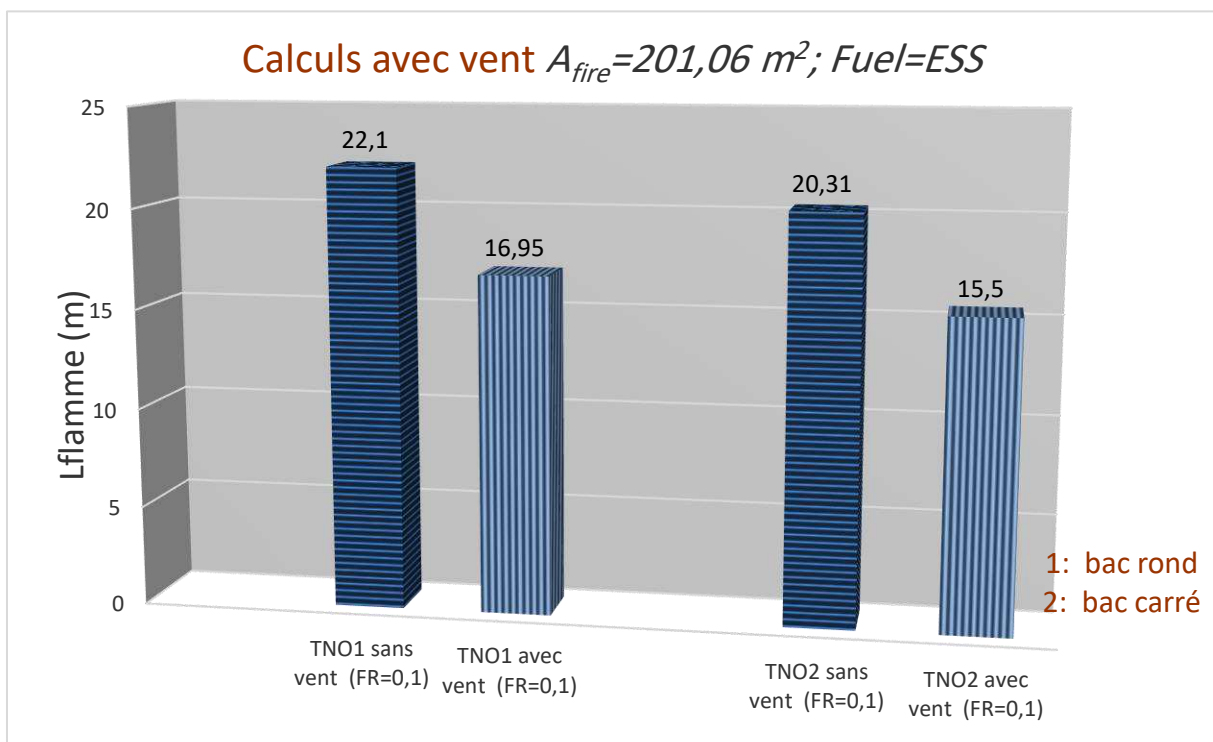


Figure 3.25. Calculs de longueur de flamme “cas sans vent ” $A_{fire} = 201.06m^2$ (modèle TNO, Mudan&Croce).

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

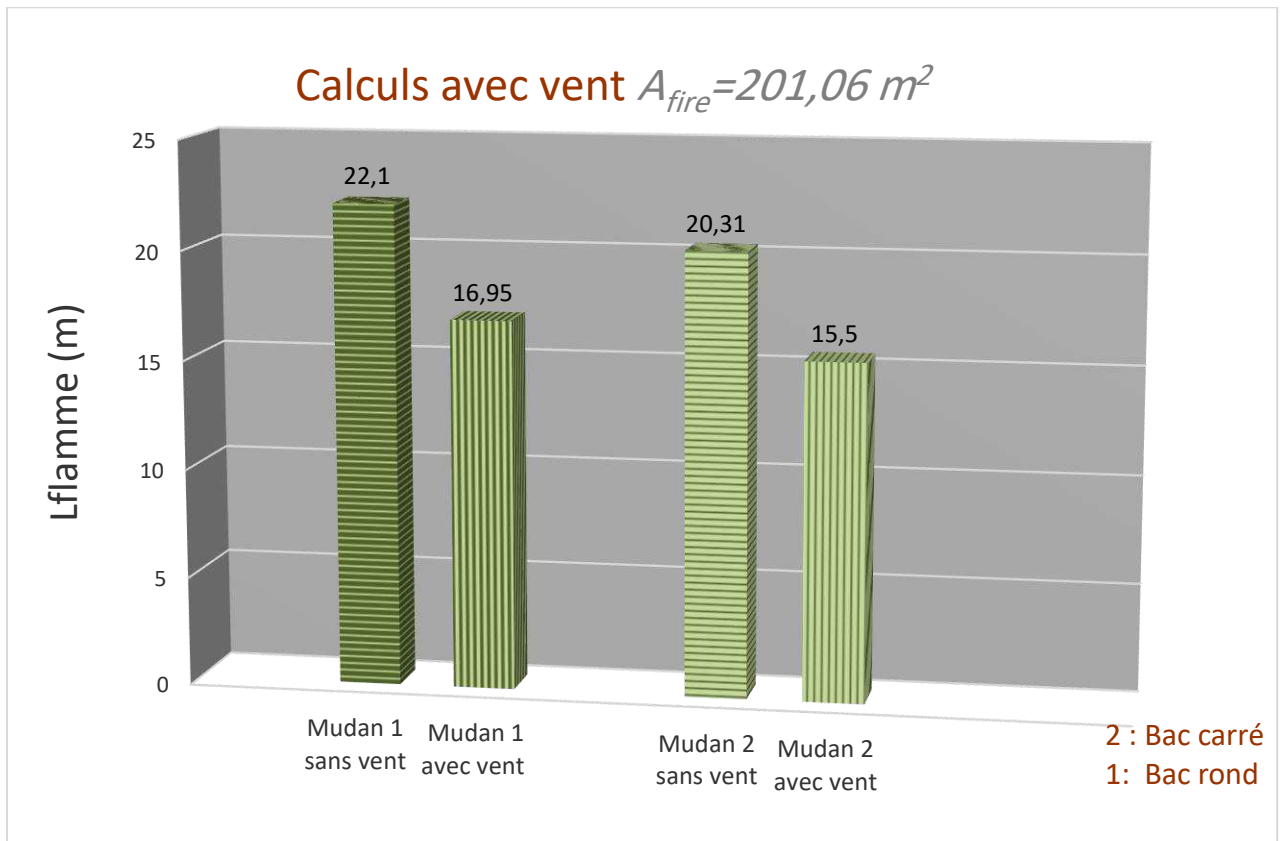


Figure 3.26. Calculs de longueur de flamme “cas avec vent “ $A_{fire} = 201.06m^2$ (Mudan & Croce)

3.7.1. Effet de la température sur le pouvoir émissif :

Fraction des pertes radiatives des fumées, $FR=0.1$

	$T_{air} = 25^{\circ}C$	$T_{air} = 40^{\circ}C$	$\Delta\Psi$ (%)
L (m)	22.10	22.78	3.07%
F _{imax} (kW/m ²)	36.151	35.242	/
F _{izéro} (kW/m ²)	23.23	23.04	-0.81%

Tableau3.6. Influence de T_{air} sur le pouvoir émissif.

Dans les histogrammes suivants des effets de la température, on peut observer que la longueur de la flamme augmente avec l'augmentation de la température, mais la valeur de pouvoir émissif diminue.

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

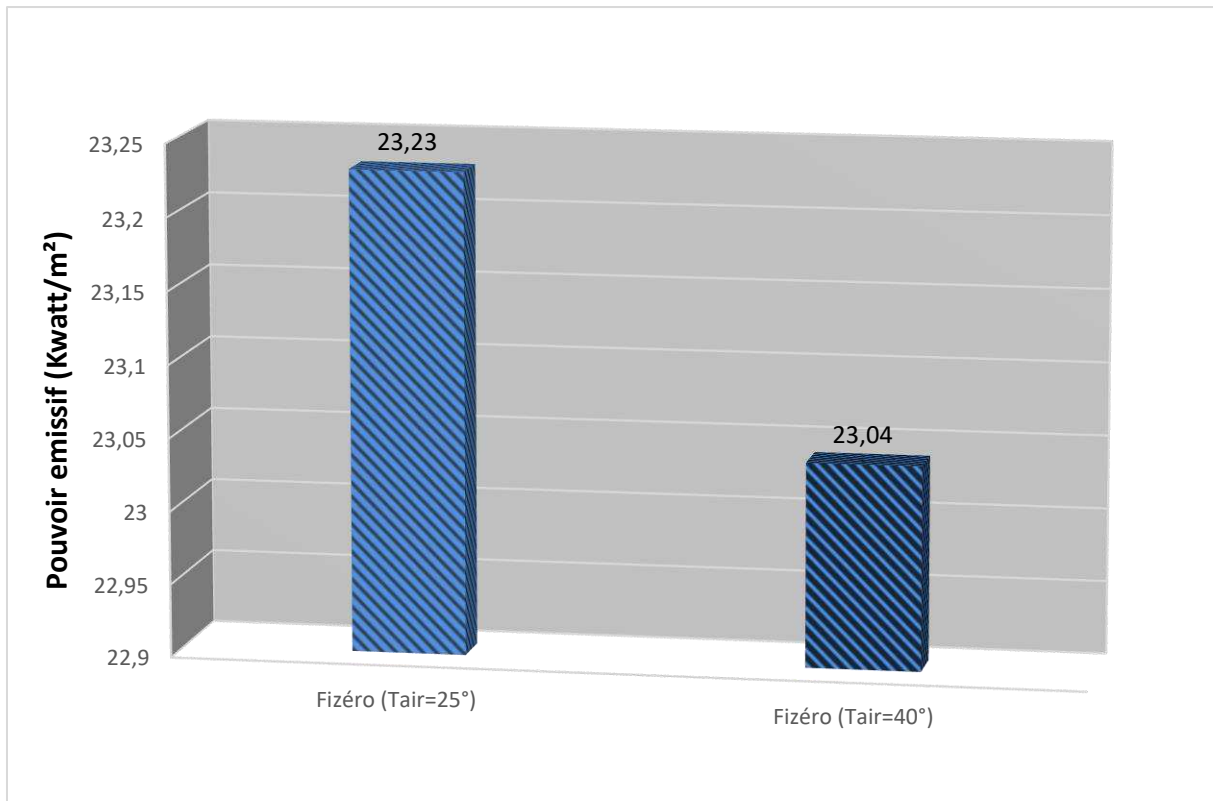


Figure 3.27. Pouvoir émissif pour de valeur limites de T_{air}.

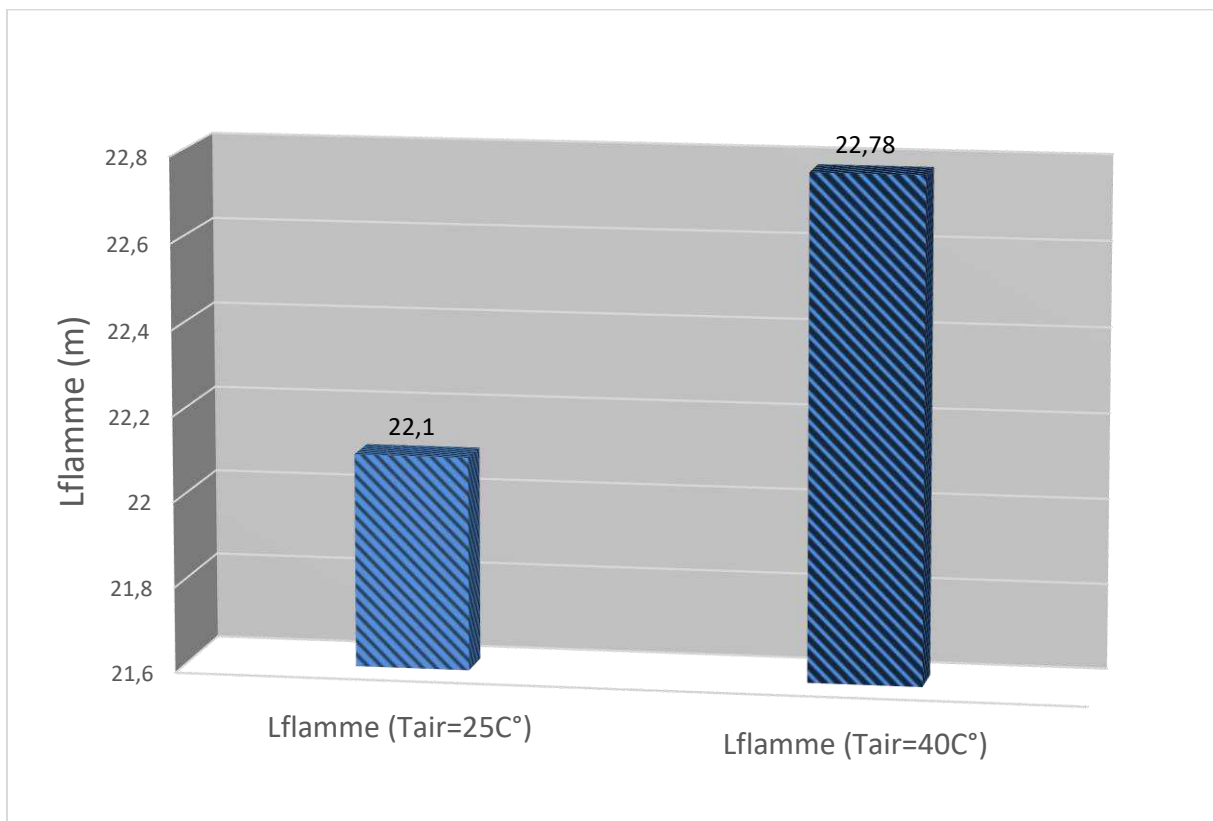


Figure 3.28. Longueur de flamme pour de valeur limites de T_{air}.

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

3.8. Distribution du flux thermique avec la distance d'effet (scénario 1) :

Scénario1 : Fuel= Gasoil (GO)

Dans cette partie on a fait l'estimation du flux thermique, dégagé lors de l'incendie du bac de 30 m de diamètre et de 14.5 m de hauteur (R ?), avec une prédictions des distances d'effets d_i correspondantes à 03 KW/ m² ; 5 KW/ m² et 8 KW/ m² , avec trois différents modèles pour le facteur de vue, entre la flamme et une cible située à d_i mètres du bac :

- Cas de la flamme cylindrique.
- Cas du modèle corrélatif de la flamme cylindrique.
- Cas de la flamme IT-89.

Dans les trois cas on a remarqué que plus on s'éloigne de la source de feu plus les valeurs de flux deviennent petites.

Après la comparaison entre ces trois modèles de flamme on peut constater que les valeurs de flux thermique de flamme cylindrique sont les plus grands par rapport aux autres modèles.

Remarque :

Dans nos calculs on a utilisé le modèle de Mudan et Croce pour le flux thermique, et le modèle d'atténuation de Brzustwsky & Sommer avec une humidité relative de 70%.

En reprenant les valeurs des seuils réglementaires pour les flux thermiques soit, 5 kW/m² et 3 kW/m² en utilisant les formules de IT-89, on obtient respectivement [5]

Avec : K= 26.58 m

$$R5= r (5kW/m^2) = 2,8 K^{0,85} (1 - 2,2.10^{-3} K^{0,85}) = 43.875$$

$$R3= r (3kW/m^2) = 3,8 K^{0,85} (1 - 3.10^{-3} K^{0,85}) = 58.742$$

Pour le flux thermique de 8 kW/m², introduit par l'arrêté du 24 octobre 2004, cette équation conduit à une distance d'isolement est :

$$R8= r (8kW/m^2) = 2,25 K^{0,85} (1 - 1,8.10^{-3} K^{0,85}) = 35.494$$

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

Pour le but de comparer entre le modèle de Mudan et Croce et de TNO avec $FR=0.1$ pour les calculs de flux en gardant les memes données , on a constaté que les valeurs de flamme cylindrique restent toujours supérieures de celles de corrélation de flamme cylindrique .

Les courbes tracées dans ce comparatif représentent l'évolution de flux thermiques en fonction de la distance entre la cible et le front de flamme.

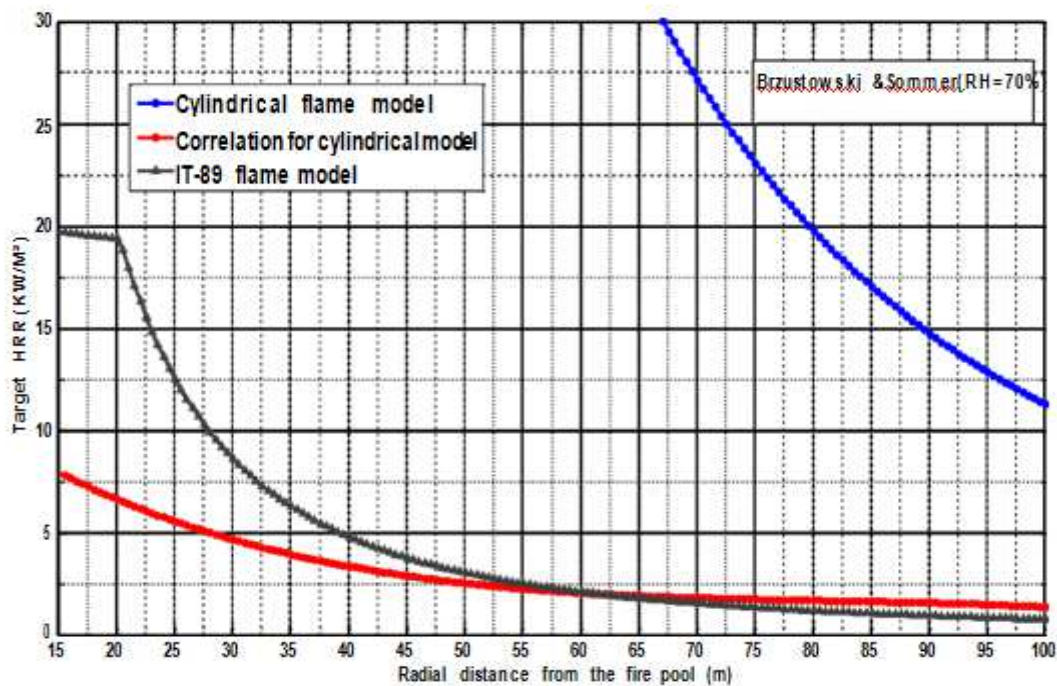


Figure 3.29. Distribution du flux thermique TNO (modèle de flamme cylindrique, corrélation cylindrique, IT-89)

D'après la figure on remarque que les valeurs de flux de modèle de flamme cylindrique sont nettement supérieures aux autres de modèle de corrélation de modèle cylindrique et de IT-89.

Afin de vérifier nos calculs on a calculé les écarts relatifs en utilisant les résultats des calculs des distances avec les formules d'IT-89.

On a obtenu des valeurs négatives mais celles de modèle de IT-89 sont les plus grands.

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

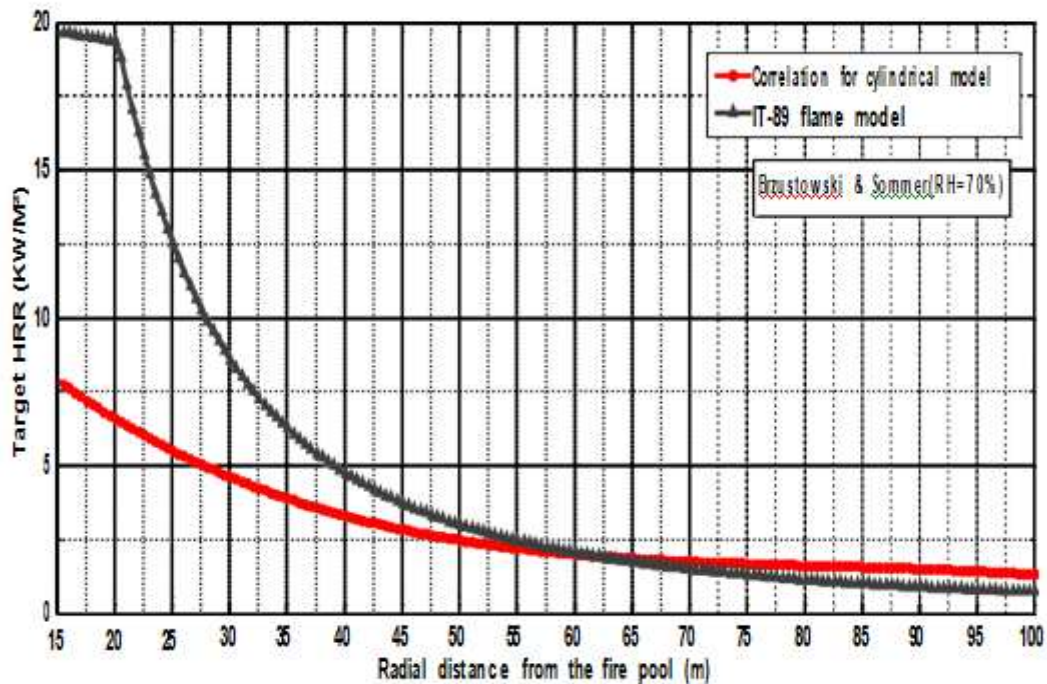


Figure 3.30. Distribution du flux thermique Mudan et Croce de (modèle d'IT-89, corrélation de flamme cylindrique)

Dans cette courbes, les valeurs des deux modèles forme des fonctions décroissantes qui interprètes la diminution de flux thermique lorsque la distance augmente.

De 15m a 57m les valeurs de flux de modèle de IT-89 sont supérieures a celles de la corrélation de flamme cylindrique.

De 57m a 67m les valeurs de deux modèles sont convergentes.

De 67m a 100m les valeurs de corrélation de flamme cylindrique sont les plus grands.

3.8.1. Effets de l'humidité relative (RH) sur les distances d'effet :

Les histogrammes suivants représentent l'effet d'humidité relative sur la distance dans les valeurs des seuils réglementaires pour les flux thermiques soient 3kW/m^2 , 5kW/m^2 et 8kW/m^2 .

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

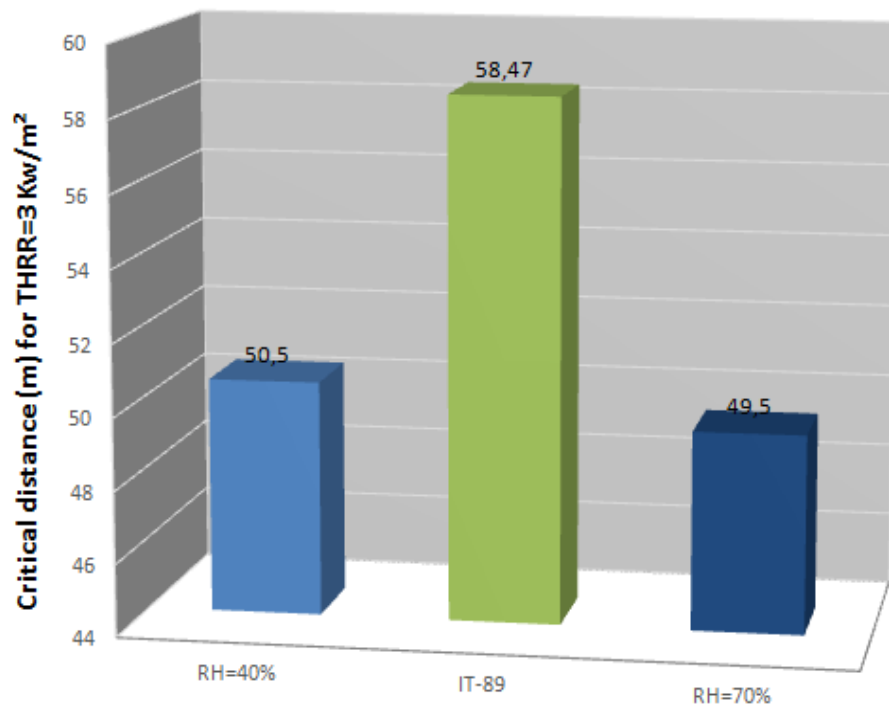


Figure 3.31. Effet de RH sur la distance critique pour un flux thermique de 3Kw/ m².

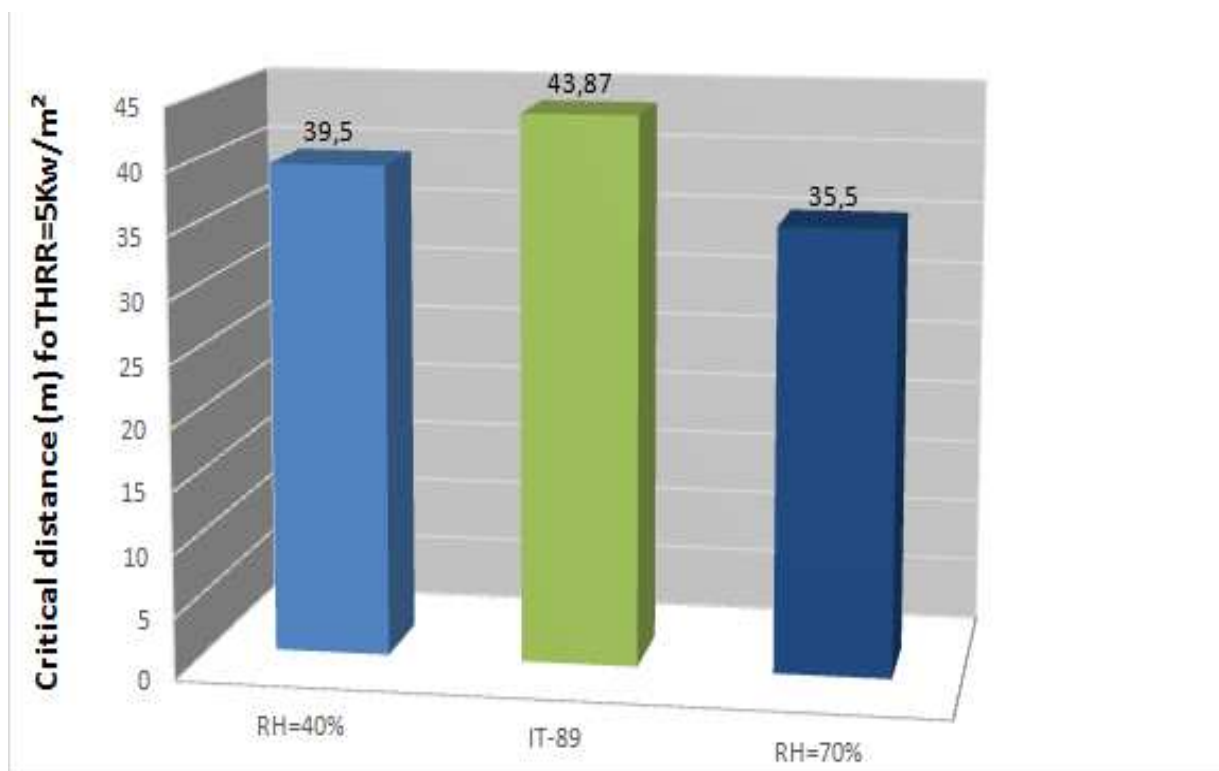


Figure 3.32. Effet de RH sur la distance critique pour un flux thermique de 5Kw/ m².

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

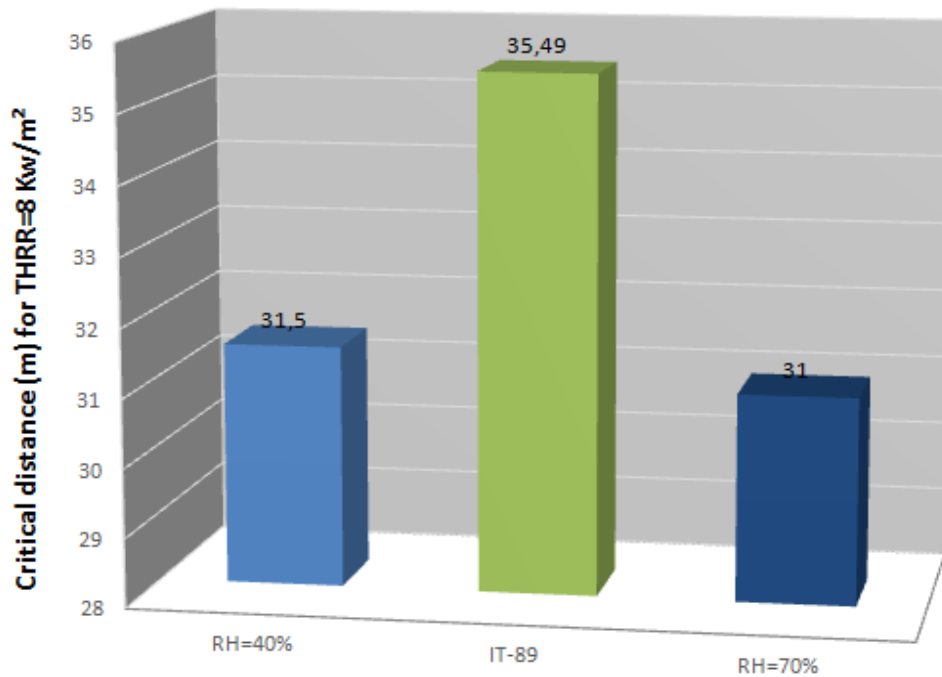


Figure 3.33. Effet de RH sur la distance critique pour un flux thermique de 8Kw/ m².

En comparant les résultats affichés sur les histogrammes, on remarque que l'humidité relative affecte la distance des effets du flux thermique.

De sorte que lorsque l'humidité relative augmente, la distance d'effet diminue.

3.8.2. Effets de T_{air} sur les distances d'effet :

Dans cette partie on a utilisé le modèle de Mudan et Croce pour les calculs de flux avec une humidité relative de 40% et 70%, et l'atténuation de Bagster pour l'évaluation de facteur de transmittivité atmosphérique.

Pour percevoir l'effet de température sur les distances d'effet du flux thermique correspondantes à 03kw/ m², 5Kw/ m² et 8Kw/ m² on a changé la température de 25C° à 40C°.

Nous concluons l'élévation de température augmente les distances d'effet. et malgré le changement de température les valeurs de modèle de flamme de IT-89 restent toujours les plus grandes. Afin de vérifier les calculs on a calculé les écarts relatifs de chaque cas, on a obtenu des valeurs négatives.

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

Les courbes suivantes représentent l'évolution de flux thermique en fonction de la distance entre la cible et le front de flamme.

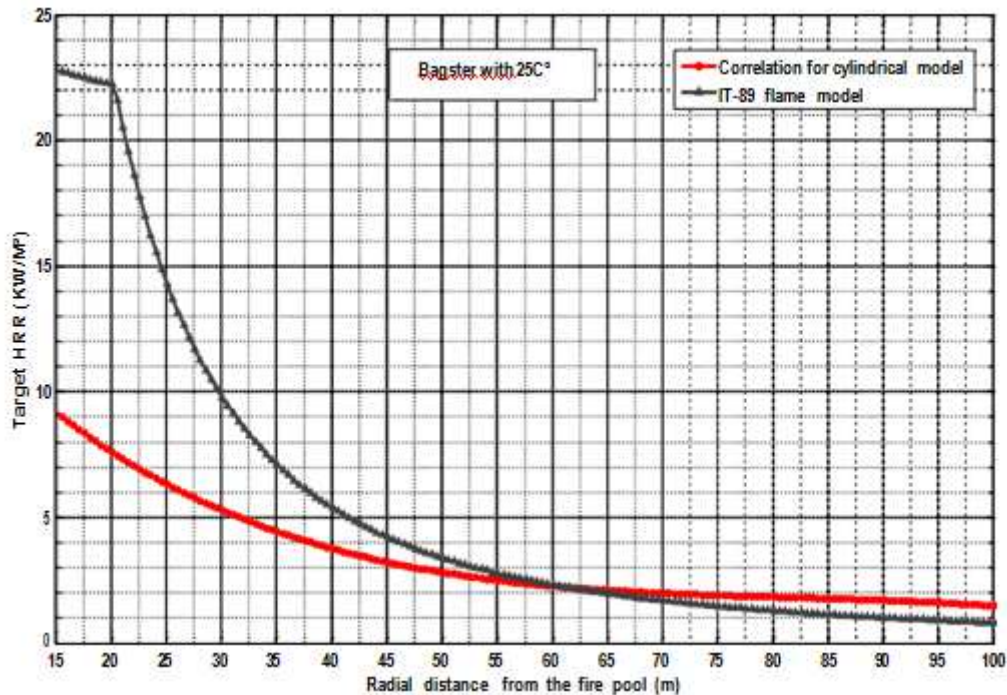


Figure 3.34. Effet du facteur de vue sur la distribution du flux thermiques

Dans cette figure les courbes représentent des fonctions décroissantes, qui s'exprime la diminution des valeurs de flux lors de l'éloignement de distance de la source de feu.

De 15m à 62m le modèle de IT-89 est plus grand que la corrélation de flamme cylindrique.

À 62m les valeurs de deux modèles sont égales.

De 62m à 100m les valeurs de corrélation sont plus grandes que les valeurs de modèle de IT-89.

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

Les histogrammes suivants représentent l'effet de température et d'humidité relative sur les distances d'effet :

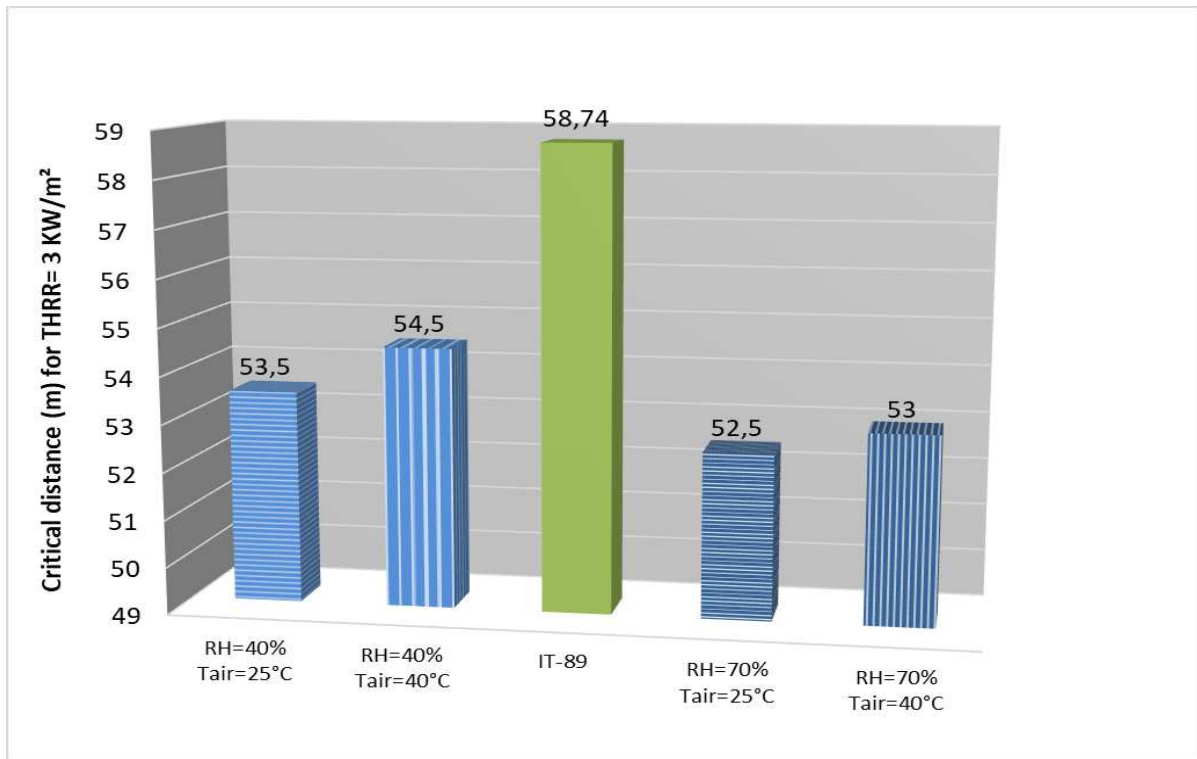


Figure 3.35. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique de 3Kw/ m².

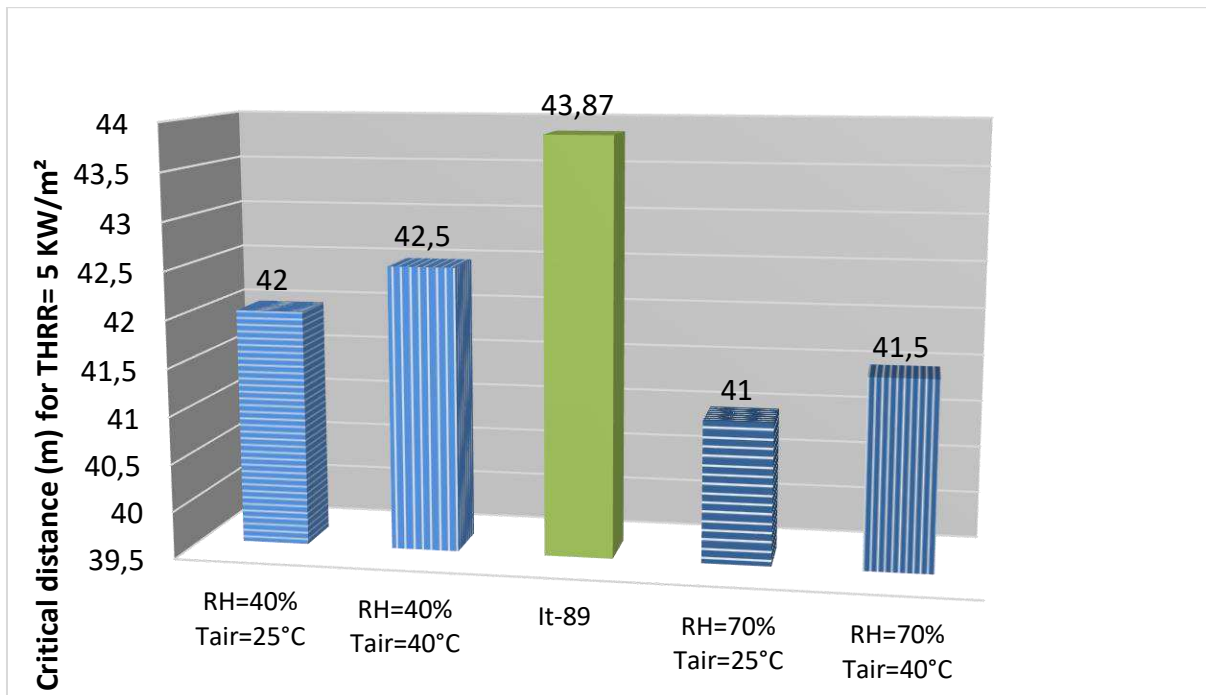


Figure 3.36. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique de 5Kw/ m².

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

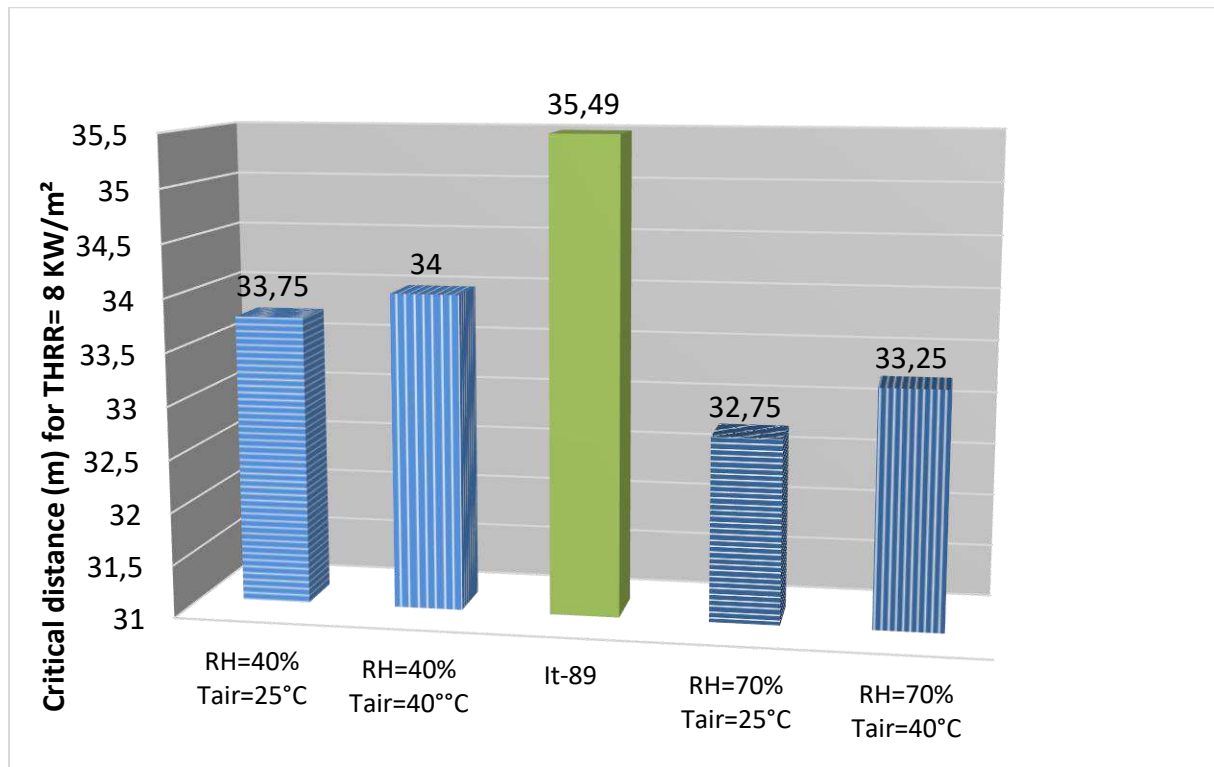


Figure 3.37. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique de 8Kw/ m².

3.9 Distribution du flux thermique. Vs. Distance d'effet (Scénario 2) :

Scénario2 : Fuel=essence super (ESS)

De même façon on fait l'estimation du flux thermique dans un bac rond de 16m de diamètre et 11m de hauteur avec des distances correspondantes à 03 KW/ m² ; 5 KW/ m² et 8 KW/ m² sur trois différents cas de flamme :

- Cas de flamme cylindrique.
- Cas de modèle corrélatif de flamme cylindrique.

On a adapté :

- Le modèle de TNO avec FR=.01 et le modèle de Mudan et Croce pour l'évaluation de flux thermique.
- L'atténuation de Brzustwsky & Sommer pour le facteur de transmittivité atmosphérique et une humidité relative de 70%.

On a distingué que plus on s'éloigne de la source de feu plus les valeurs de flux deviennent petites.

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

Après la comparaison entre ces deux modèles de flamme on peut noter que les valeurs de flux thermique de modèle corrélatif de flamme cylindrique sont les plus grands par rapport le modèle de IT-89.

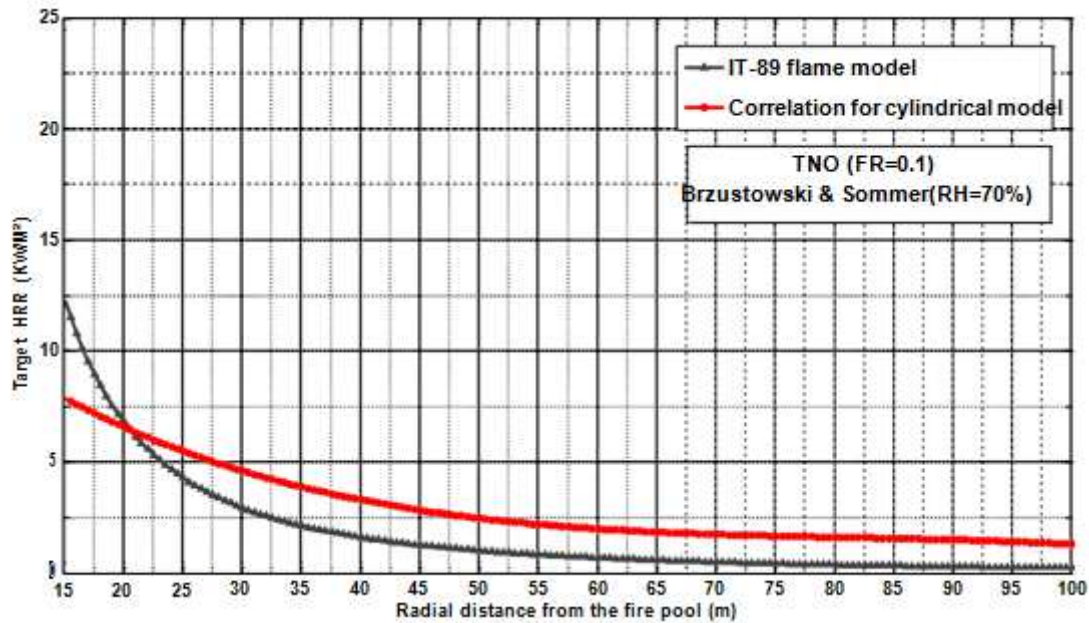


Figure 3.38. Flux thermique (TNO) en fonction de la distance entre la cible et le front de flamme.

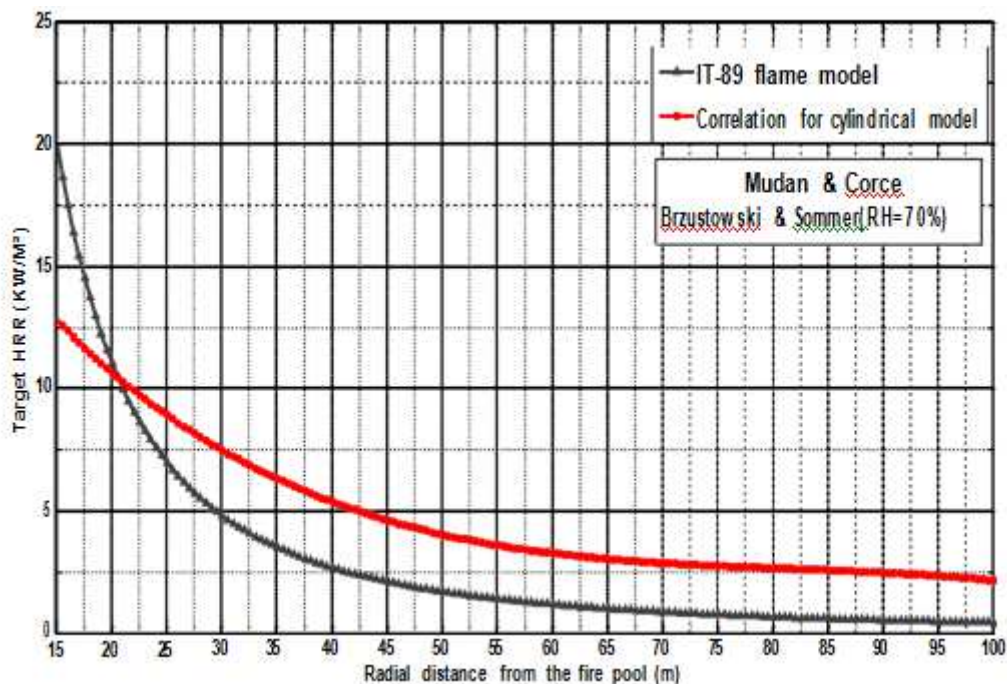


Figure 3.39. Flux thermique (Mudan et Croce) en fonction de la distance entre la cible et le front de flamme.

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

avec $K=14.17$ on obtient respectivement :

$$R3= r (3kW/m^2) = 3,8 K^{0,85} (1 - 3 \cdot 10^{-3} K^{0,85}) = 35.14$$

$$R5= r (5kW/m^2) = 2,8 K^{0,85} (1 - 2,2 \cdot 10^{-3} K^{0,85}) = 26.099$$

$$R8= r (8kW/m^2) = 2,25 K^{0,85} (1 - 1,8 \cdot 10^{-3} K^{0,85}) = 21.05$$

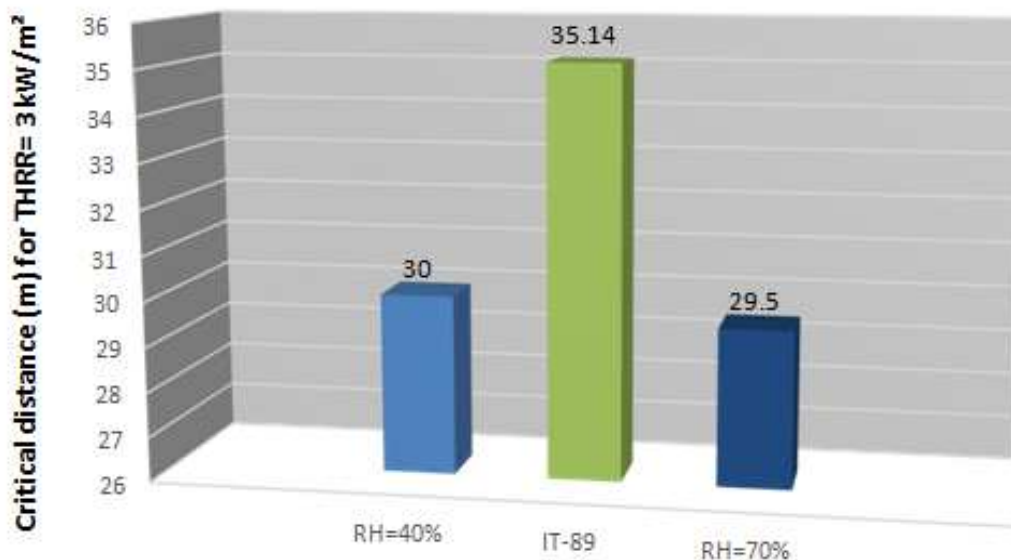
Après les calculs des écarts relatifs on a obtenu des pourcentages positives dans le modèle de Mudan et Croce, par contre dans le modèle de TNO, les valeurs varient entre positives et autres négatives.

3.9.1. Effets de l'humidité relative (RH) sur les distances d'effet :

Pour découvrir l'effet d'humidité relative sur la distance on a calculé les distances correspondantes a $3kW/m^2$, $5kW/m^2$ et $8kW/m^2$ avec $RH=40\%$ et $RH=70\%$ en utilisant le modèle de TNO ($FR=0.1$) pour le flux et l'atténuation de Brzustwsky & Sommer pour le facteur de transmittivité pour un modèle de flamme d'IT-89.

En comparant les valeurs, on remarque que l'augmentation d'humidité relative a légèrement levé les valeurs des distances.

Pour vérifier nos calculs, on a calculé les écarts relatifs en utilisant les formules d'IT-89, on a obtenu des valeurs négatives, mais celles quand $RH=40\%$ sont les plus grandes.



CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

Figure 3.40. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique de 3Kw/ m.

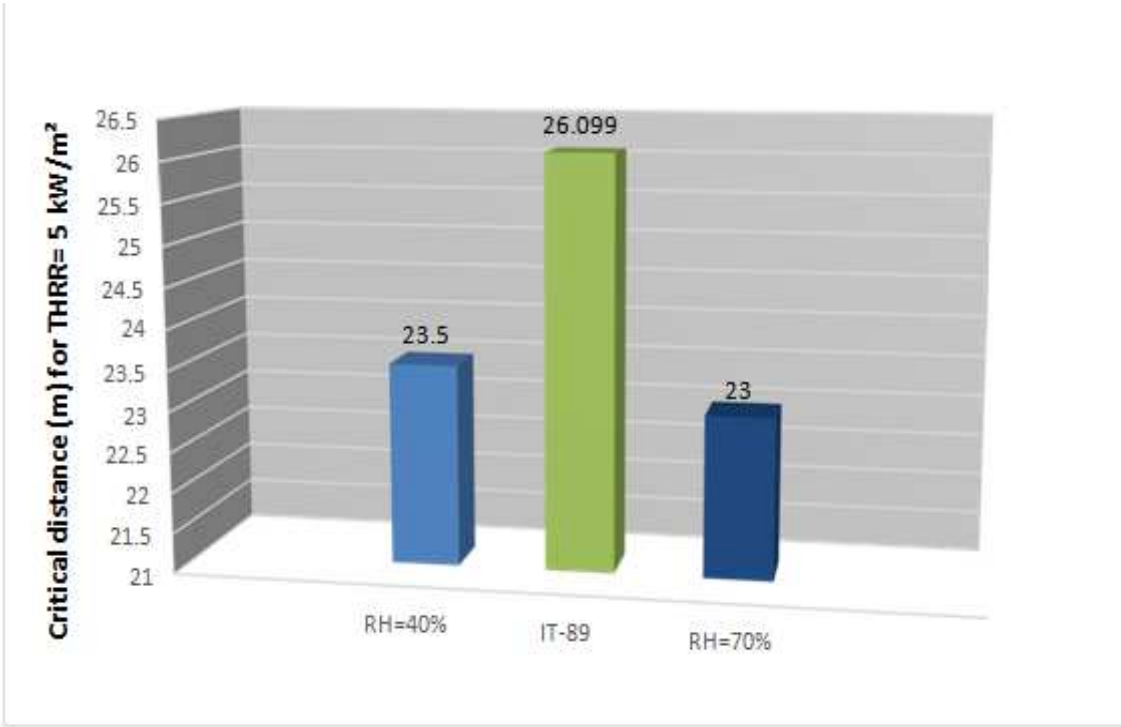
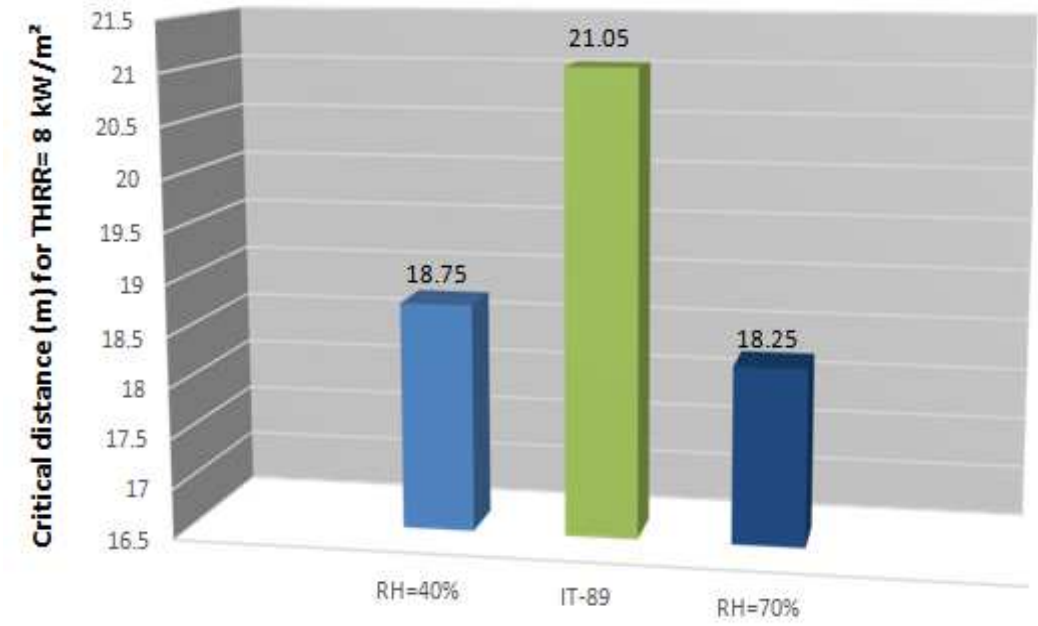


Figure 3.41. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique de 5Kw/ m.



CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

Figure 3.42. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique de 8Kw/ m.

3.9.2. Effets de T_{air} sur les distances d'effet :

Pour étudier l'effet de température sur les distances d'effet pour un bac rond on a adopté :

- RH=70%.
- Le modèle de TNO pour les calculs du flux thermique.
- La corrélation de flamme cylindrique et le modèle de flamme d'IT-89 pour le facteur de vue.
- L'atténuation de Bagster pour le coefficient de transmittivité atmosphérique.

Pour $T_{air}=25C^{\circ}$ et $T_{air}=40C^{\circ}$.

D'après les résultats on peut constater que dans le modèle d'IT-89 la température n'a aucun effet, par contre dans la corrélation de flamme cylindrique que les distances sont légèrement grandies

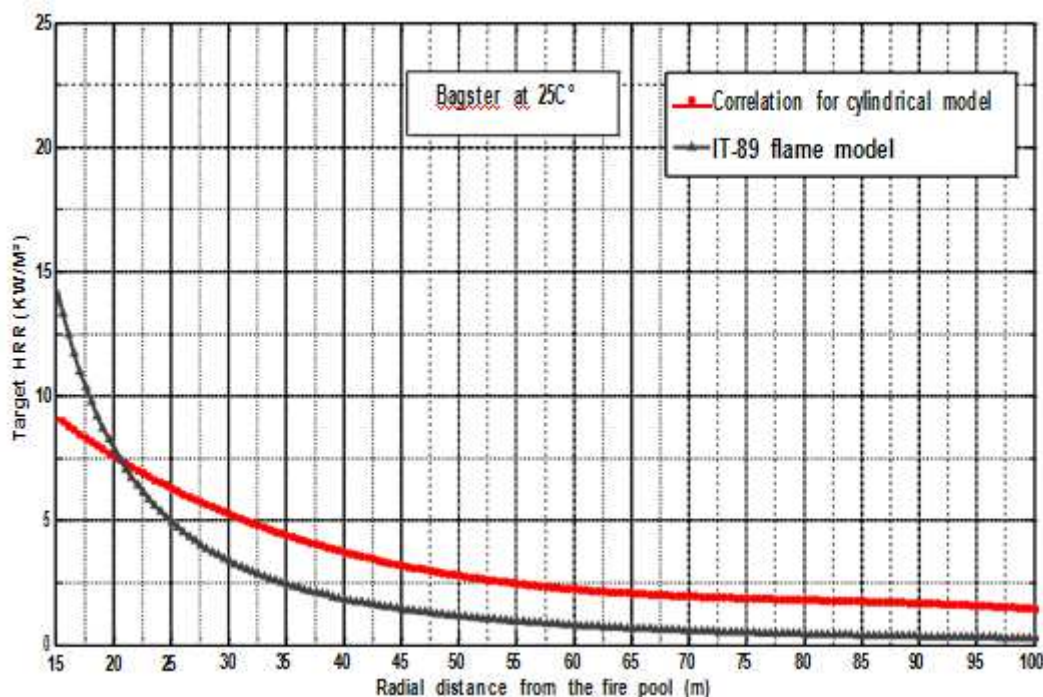


Figure 3.43. Distribution du flux thermique .

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

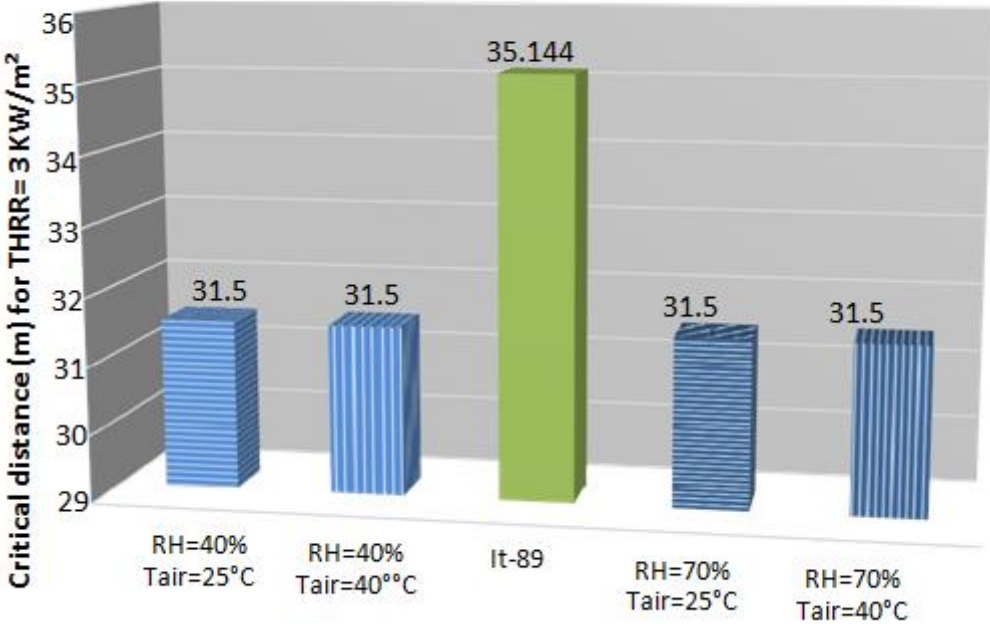
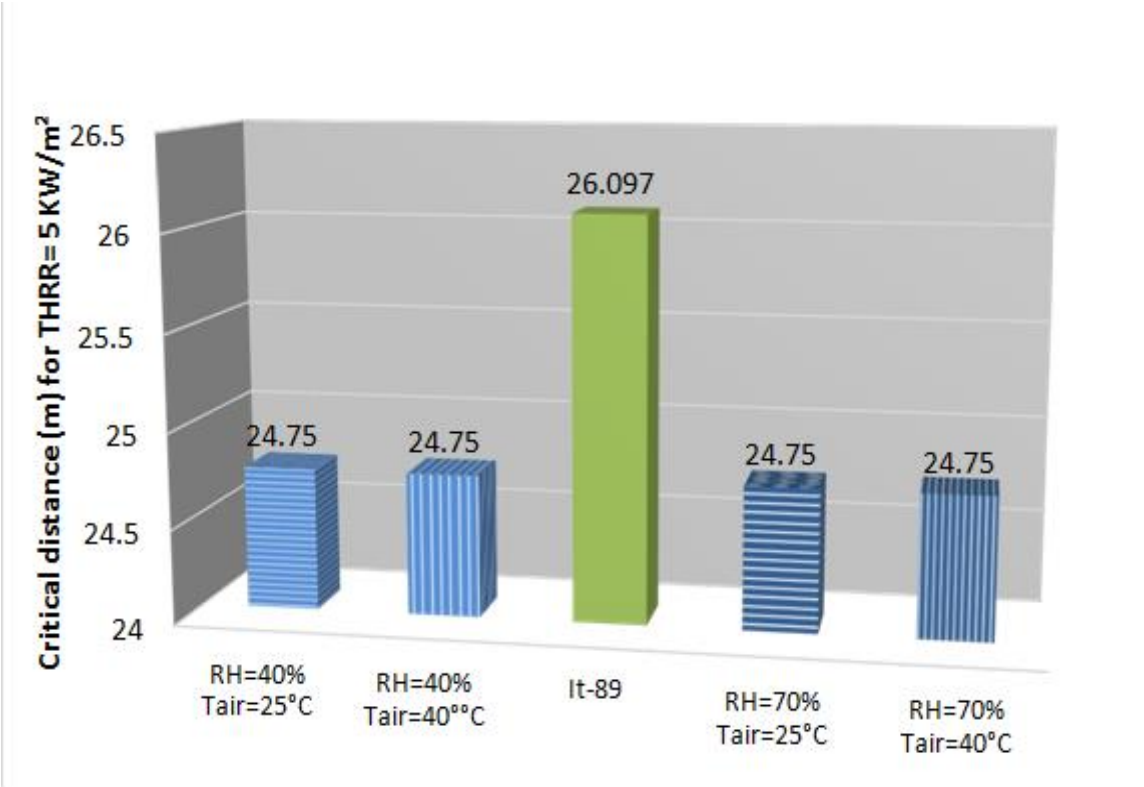


Figure 3.44. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique de 3Kw/ m.



CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

Figure 3.45. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique de 5Kw/ m.

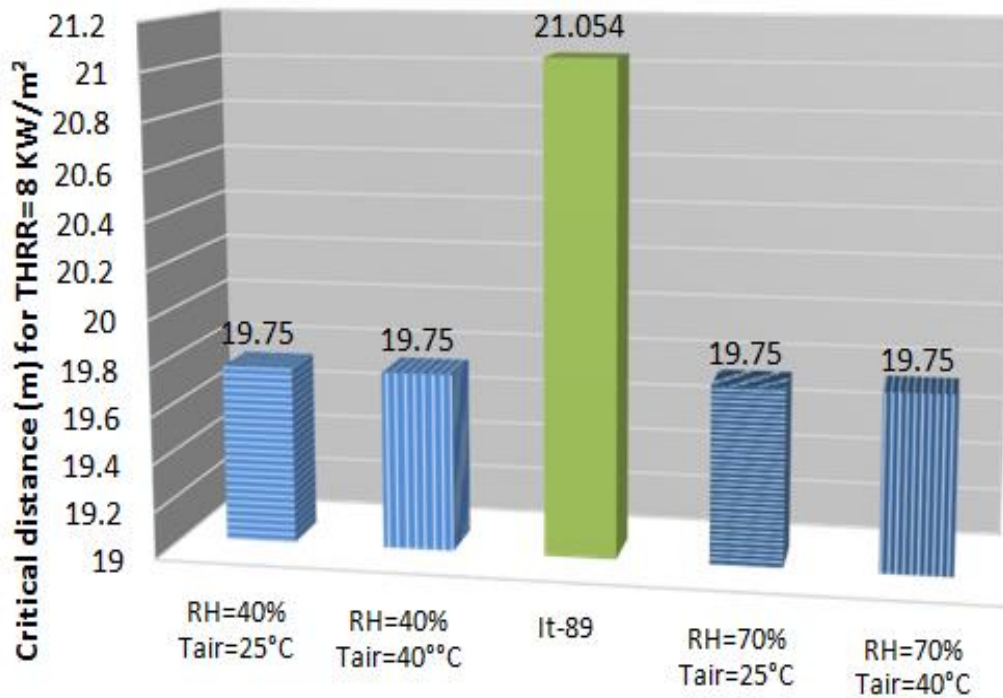


Figure 3.46. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique de 8Kw/ m.

Après l'application des mêmes modèles pour un bac carré on remarque :

L'augmentation des valeurs des distances d'effet dans le modèle d'It-89 avec l'élévation de la température et le contraire dans le cas de corrélation de flamme cylindrique.

Après les calculs des écarts on a obtenu des écarts négatifs dans le cas d'It-89 et des écarts positifs aux distances correspondantes a 3 et 5kw/ m², et autre négative aux 8kw/ m².

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

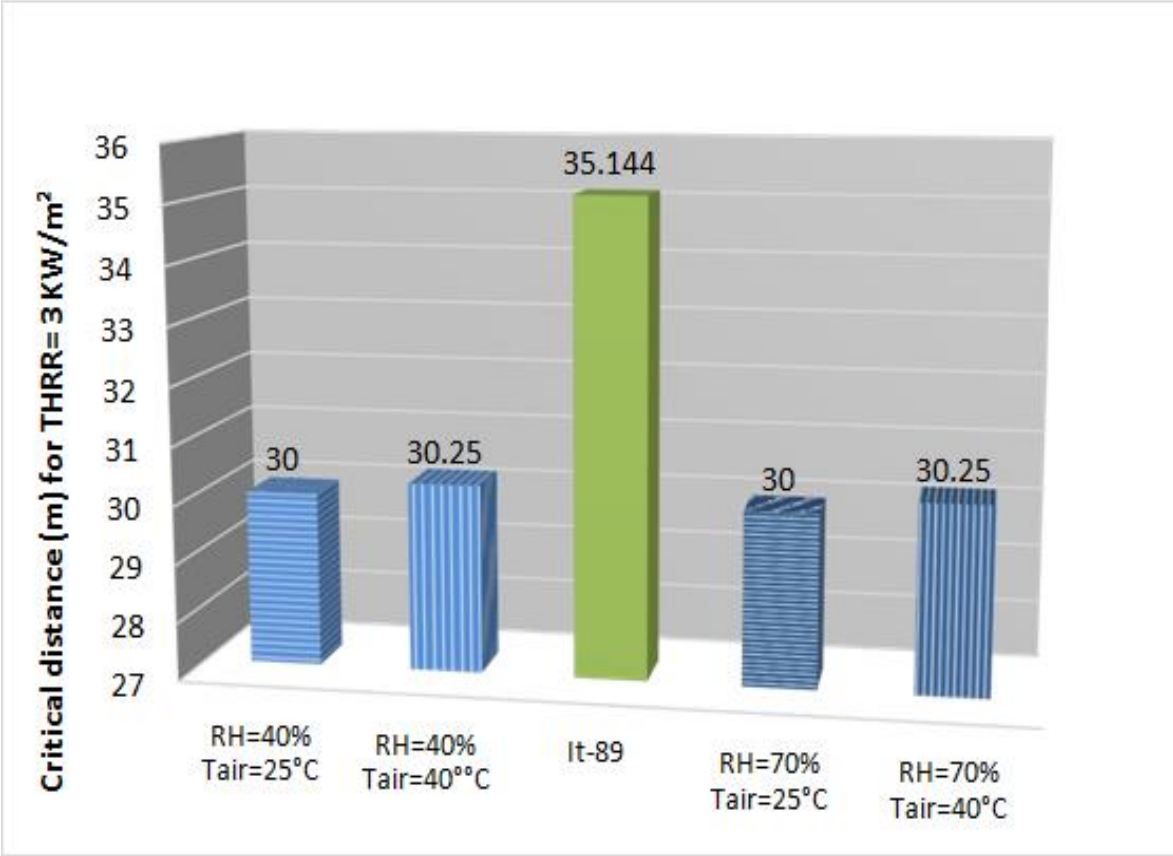
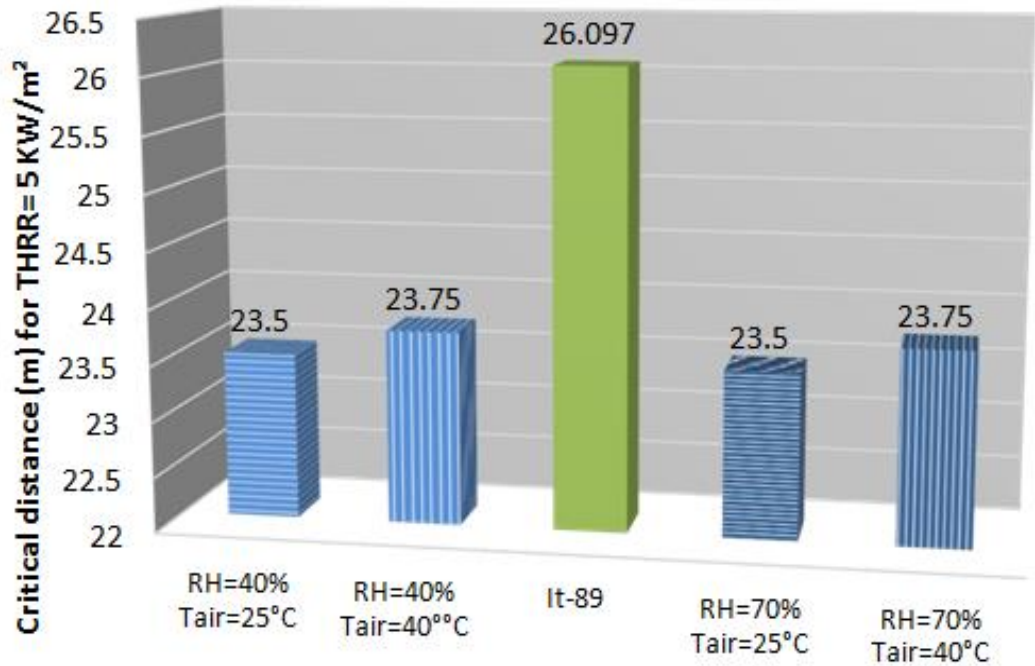


Figure 3.47. Effet de la température de l’air sur la distance critique pour un flux thermique de 3Kw/ m



CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

Figure 3.48. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique de 5Kw/ m

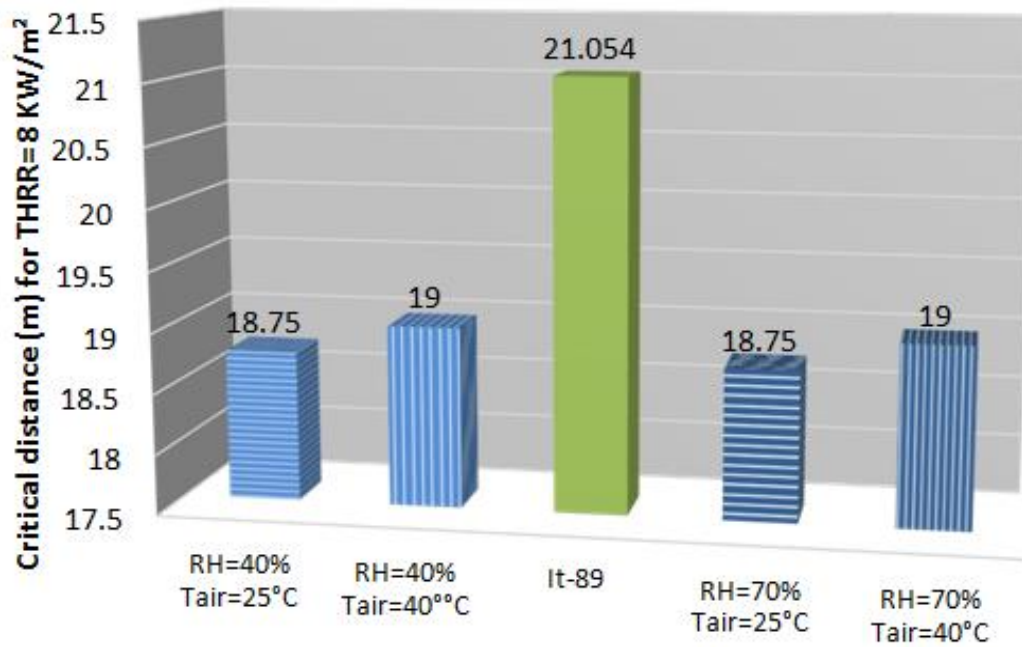
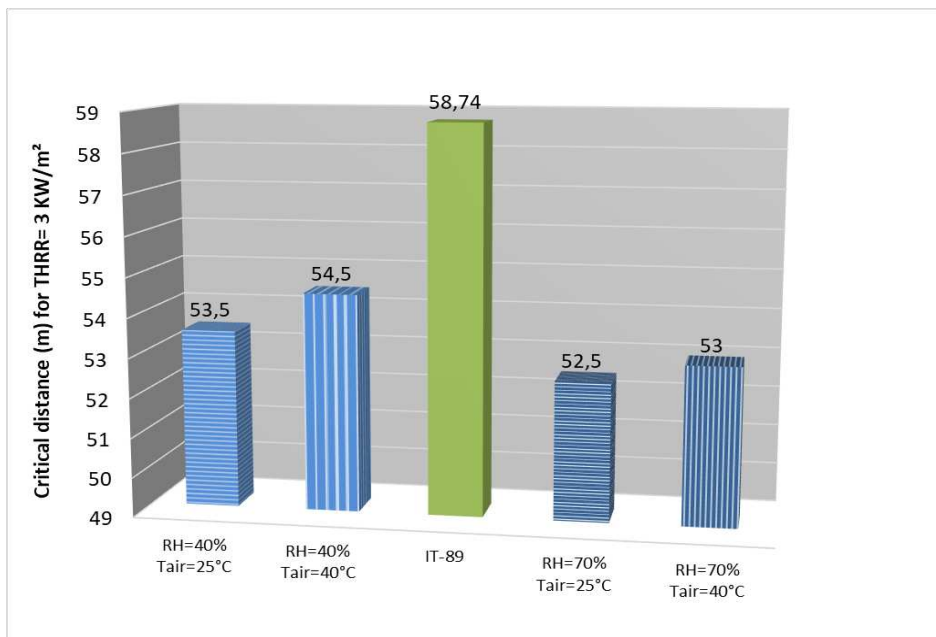


Figure 3.49. Effet de la température de l'air sur la distance critique pour un flux thermique de 8Kw/ m.

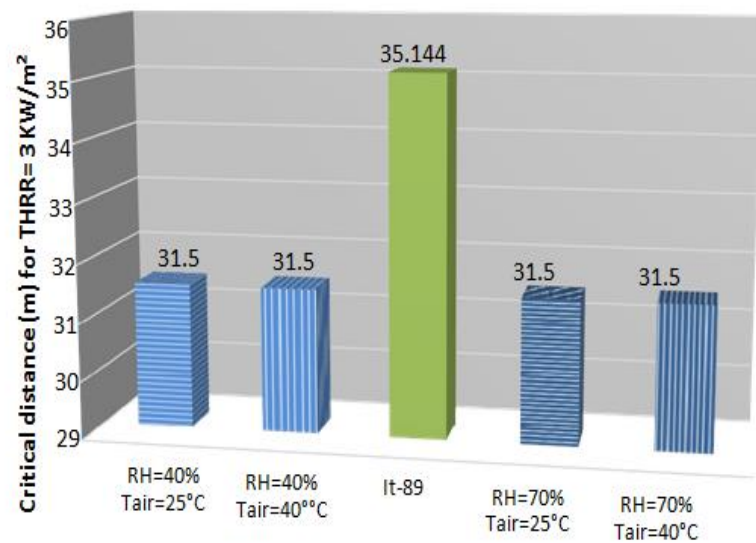
CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

3.10 Confrontation (scénario 1 // scénario 2) :



Scénario 1 : Effet de T_{air}.

Scénario 2 : Effet de T_{air}.

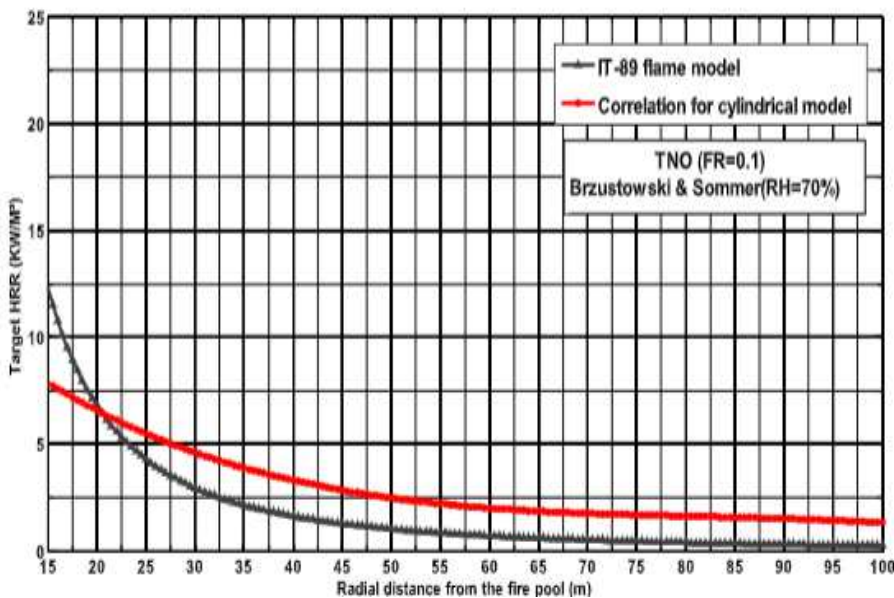
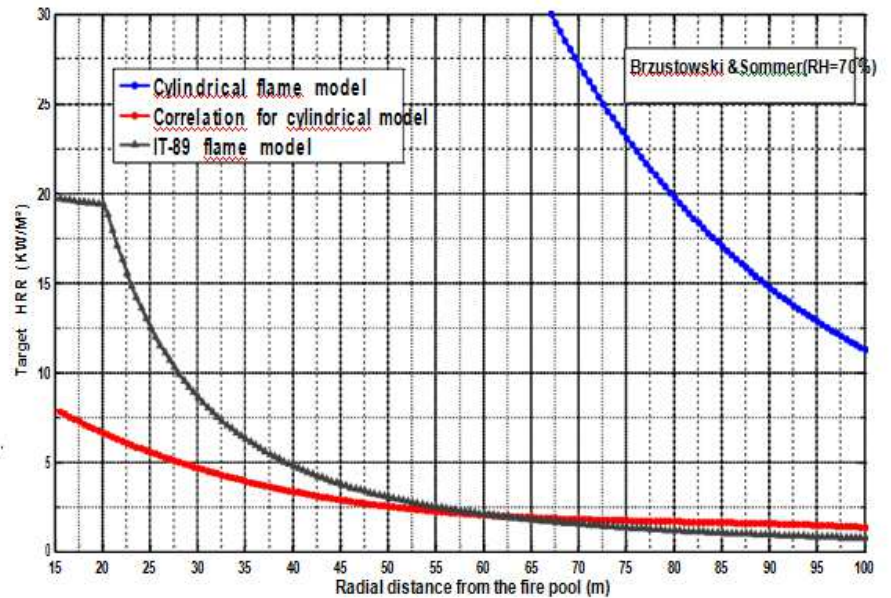


Les histogrammes représentent l'effet de température et d'humidité relative sur les distances d'effet du flux thermique à 3kw/ m², 5Kw/ m² et 8Kw/ m²

On remarque que dans les deux scénarios les distances d'IT-89 sont toujours les plus élevées quel que soit la valeur de l'humidité relative et la température.

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

Scenario1: TNO (FR=0.1)



Scenario2: TNO (FR=0.1)

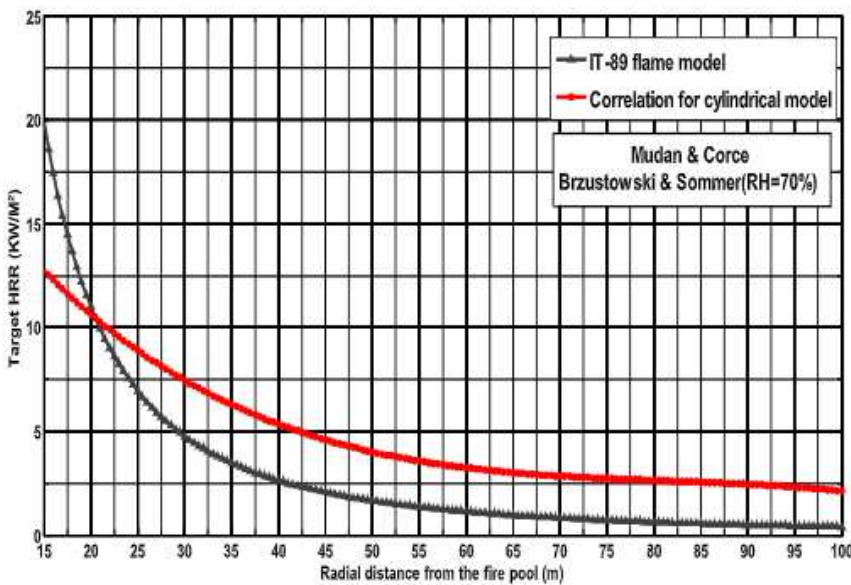
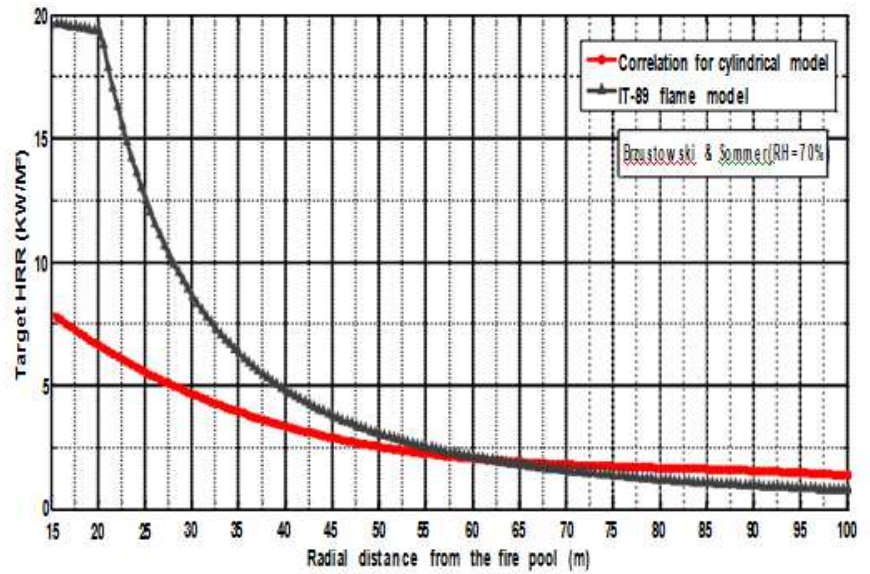
Les courbes précédentes représentent l'évolution de flux thermique en fonction de la distance de cible au modèle (TNO, FR=0.1) avec RH=70%.

On remarque que les courbes sont décroissantes dans les deux cas mais dans le 2em scénario

La courbe de corrélation cylindrique est supérieure de 20 à 100 m ; par contre dans le 1er scénario la courbe de corrélation cylindrique supérieure au point 65 jusqu'à 100 m.

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

Scénario1: Mudan and Croce



Scénario2: Mudan and Croce

Les courbes précédentes représentent l'évolution de flux thermique en fonction de la distance de cible au modèle (Mudan and Croce) avec RH=70%.

On remarque que les courbes sont décroissantes dans les deux cas mais dans le 2em scénario

La courbe de corrélation cylindrique est supérieure de 20 à 100 m ; par contre dans le 1er scénario la courbe de corrélation cylindrique supérieure au point 65 jusqu'à 100 m.

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

CONCLUSION :

On a commencé ce travail par la présentation du centre Chiffa : Le centre carburant, les dépôts de stockage et le poste chargement.

On a défini la démarche à suivre pour pouvoir modéliser les effets thermiques lors d'un incendie en feu de nappe.

Pour la réalisation de ce chapitre nous avons commencé par la présentation passant par la description de l'environnement du site à la description de l'installation à la composition du parc du stockage jusqu'à la distribution des produits, en mentionnant tous les détails pour la description de la composition du centre et son importance.

Ensuite nous avons bien suivi les étapes des calculs pour la validation par rapport à un petit et un grand bac ; ainsi pour les différents effets des modèles sur le facteur de vue et le facteur d'atténuation.

Arrivons à cette étape ; on commence les calculs avec les deux cas :

- Cas d'un bac Diesel (scénario 1).
- Cas d'un bac Essence Super (scénario 2).

Cette étape s'est attachée à déduire les effets thermiques dans les réservoirs des carburants liquides ; ce qu'on a traité en particulier est la modélisation des effets au niveau du centre.

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté dans ce mémoire de Master s'est porté sur l'étude et l'analyse des modèles corrélatifs appliqués au feu de réservoirs de carburants.

Les feux et les incendies, la combustion et son processus, les types de transferts de chaleur (conduction, convection et rayonnement) qui ont été définis ; Les différentes corrélations qui ont été étudiées pour pouvoir connaître les méthodes qui aide à faire la modélisation des effets thermiques.

Ceci est une première approche pour la modélisation de l'incendie qui est utilisée afin d'étudier le comportement de feu ; et de permettre des calculs prédictifs des distances d'effets critiques.

Les modèles étudiés dans ce travail sont l'utile principal dont dispose l'ingénieur afin de quantifier les effets thermiques du feu, cet utile permet de connaître en particulier les effets de la température et de la puissance de feu (pouvoir calorifique).

Les objectifs sont alors de permettre la mise en sécurité des personnes à proximité du déplacement des fumées et le dimensionnement des effets thermiques afin de les intégrer dans les analyses des risques pour faire identifier les solutions et les critères à prendre en considération pour une meilleure gestion d'un incendie dans les stations des carburants.

Les calculs et les comparatifs précédents nous amènent à conclure que :

- Pour les calculs de Fizéro, Mudan et Croce est le modèle le plus adéquat mais pour des bacs de feu à surface importante ; par contre pour des petites surfaces le modèle de TNO est le plus adapté dans lesquels les effets avec vent et sans vent sont tous les deux importants.
- Le type de facteur de vue (plan ou cylindrique), il sera choisi en fonction des différentes typologies de feux (la géométrie de la nappe en feu).
- Pour le facteur de transmissivité atmosphérique, on voit qu'il convient de spécifier l'humidité absolue du site dans le modèle de Lannoy qui ne semble pas adapté aux petites distances, en revanche les modèles de Bagster et Brzustowski et Sommer ont l'air d'être les modèles les plus appropriés pour l'évaluation de GammaAir dans la valeur de l'humidité a peu d'influence sur le facteur de transmissivité atmosphérique.

CHAPITRE 03 : Application au cas de dépôt de carburant de la station NAFTAL-Chiffa-Blida

- On a marqué aussi que les distances d'effets dans les valeurs des seuils réglementaires pour les flux thermiques soient 3kW/m^2 , 5 kW/m^2 et 8kW/m^2 calculés par nous sont plus petits par rapport les distances de IT-89 dans les deux cas RH=40% et RH=70%.

Néanmoins les résultats de ce modeste travail constituent les bases d'un travail à poursuivre et à améliorer pour une étude beaucoup plus approfondie qui pourra faire l'objet d'une thèse de projet de fin d'étude.

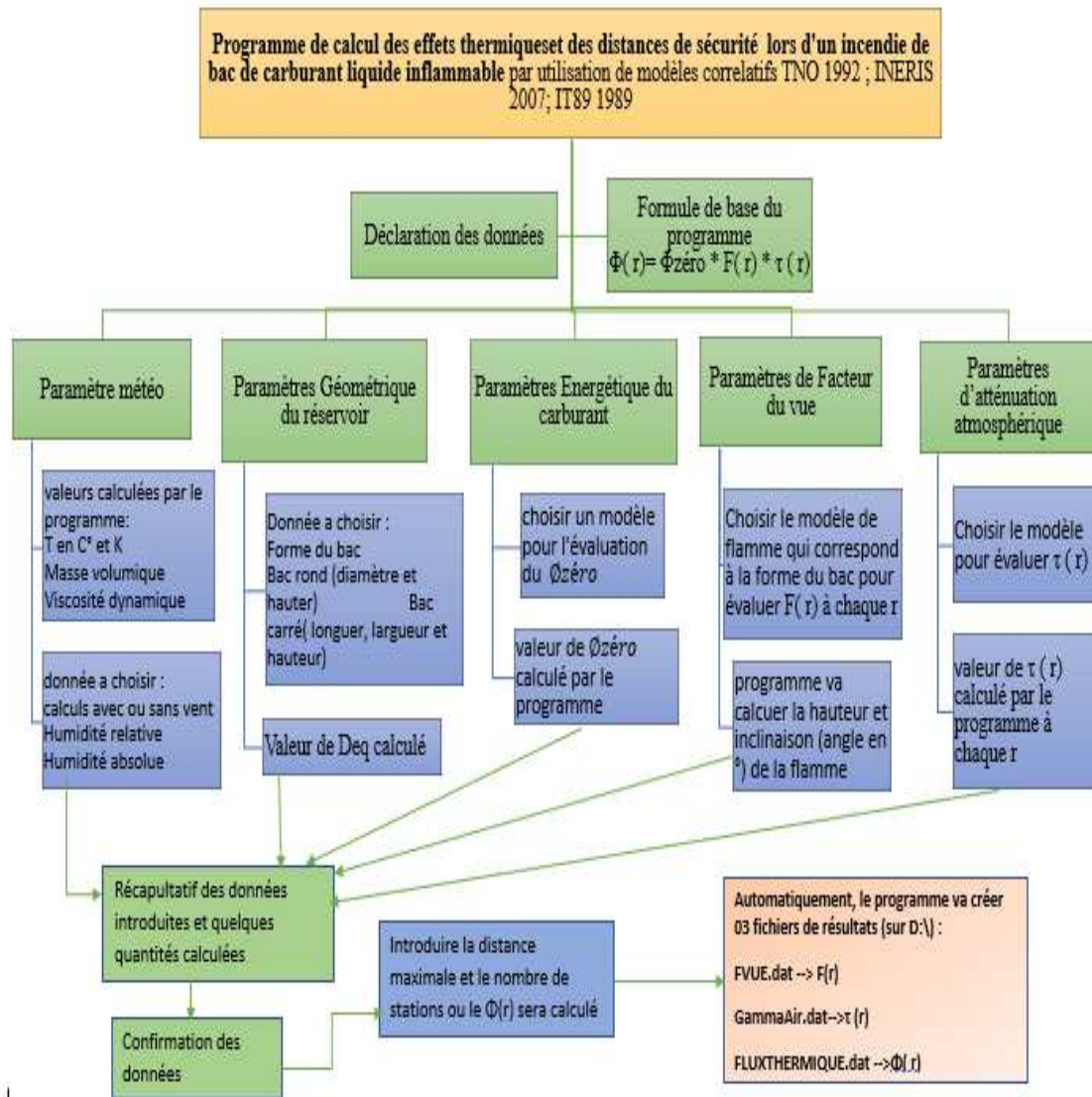
Ainsi, les perspectives futures sont de faire la simulation des phénomènes de propagation du feu en utilisant le logiciel FDS afin de conclure les processus physiques et chimiques (turbulence, combustion, radiation, etc...) qui contrôlent le feu et le développement des fumées, pour obtenir une résolution permettant une simulation de plus en plus proche de la réalité.

A travers ce travail de mémoire, nous espérons avoir contribué au domaine d'énergétique en général et au domaine de modélisation des feux en particulier ; pour le but d'évaluer les risques des incendies et de mettre en places des mesures permettant de limiter l'importance des conséquences humaines et matérielles, afin d'assurer la protection des personnes et de l'environnement.

LISTE DES ANNEXES :

Repère	Désignation précise	Nombre de page
Annexe 1	Programme (Fortran) de calcul	09

1- Organigramme schématique des étapes de programmation :



REFERENCES

- [1] : **L. GAY – E. WIZENNE** Sciences de l'ingénieur en incendie ; Electricité De France - Recherche et Développement. Département Mécanique des Fluides, Energies et Environnement, 2010, Paris France.
- [2] : **S.JOLLE** INERIS, Formation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs- Modélisation de feux industriels ; Rapport d'étude, Réf : DRA-14-141478-03176A, 2014.
- [3] : **Yasser KHOUAJA** ; Thèse Master en Management intégré : Qualité, Sécurité et Environnement, « Évaluation des risques d'un stockage d'hydrocarbures: Dépôt d'hydrocarbures liquides SNDP » Mémoire de Master, Université Virtuelle de Tunis 2017.
- [4] : **ETUDE DE DANGER** ; CDS 098 CHIFFA ; NAFTAL centre de stockage et de distribution route d'Oran (District CLP Blida), 2007, Blida, Algérie.
- [5] : **GTDLI** : Groupe de Travail Dépôt de Liquides Inflammables-version01 ; Modélisation des effets thermiques dus à un feu de nappe d'hydrocarbures liquides. Septembre 2006.
- [6] : **S.LALAOUI**; Mémoire de Master en Analyse Chimique « Caractérisation physico-chimiques des carburants des véhicules cas : essence super et gazole » Université Abderrahmane MIRA – Bejaia 2015, Algérie.
- [7] : **J.C. GUIBET** ; Les carburants et la combustion, 2000.
- [8] : Guide Dépôts de Liquides Inflammables ; Guide de maitrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables ; Octobre 2008.
- [9] : **W. SLIEPCEVICH** Fire Technology, 2, 1966