



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد

Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي

Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Sécurité Industrielle et Environnement

Spécialité : Sécurité, Intervention et Prévention

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Thème

**Simulation d'un incendie par PyroSim et étude du comportement lors de l'évacuation à l'aide du logiciel Pathfinder**

Présentée et soutenue publiquement par :

**Gouliat Miloud**

**Khelifi Housseem**

Le : 00/07/2023

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
		Univ d'Oran 2/IMSI	Président
Mm.LOUNIS ZOUBIDA	PR	Univ d'Oran 2/IMSI	Directeur de mémoire
		Univ d'Oran 2/IMSI	Examineur

Année universitaire : 2022/2023

## Remerciement

Avant tout nous remercions **ALLAH** tout puissant et miséricordieux pour la volonté, et la puissance qu'il nous a accordées durant toutes ces années d'études., je tiens à remercier chaleureusement tous ceux qui, de près ou de loin, ont participé à la rédaction de cette thèse. Il s'agit plus particulièrement de notre directrice de thèse, le professeur **Lounis Zoubida** pour tout le temps qu'il nous a consacrés, sa générosité et de la qualité de son suivi, ainsi que pour tous ce qu'il a mis à notre disposition, ses conseils et ses suggestions professionnelles, ce fut un grand plaisir de travailler avec elle.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les enseignants qui par leurs compétences, leurs connaissances et leur patience nous ont permis de poursuivre nos études et de compléter notre formation pluridisciplinaire de très haut niveau et adaptée aux réalités du HSE.

Enfin et surtout, nous voudrions remercier tous nos amis qui étaient toujours là pour célébrer ou pour nous encourager. Merci pour nos familles qui ont toujours cru en nous. Nous savons qu'ils sont très fiers de nous, et ce sentiment nous rend très heureux.

## **Dédicaces**

Chaque travail difficile nécessite des efforts personnels ainsi que les conseils de ceux qui étaient très proches de nos cœurs.

### **Maman, Papa**

Merci pour votre amour, encouragements et les prières du jour et de la nuit me permettent d'obtenir tant de succès et d'honneur.

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon bien être. Ce travail et le fruit de tes sacrifices.

### **Frère et sœur**

Qui ont toujours été là pour me soutenir, me féliciter et me montrer toujours le meilleur chemin à suivre.

### **Deuxième famille**

Je vous remercie du fond du cœur pour votre amour sans limites, votre acceptation inconditionnelle et votre présence constante. Vous êtes ma deuxième famille, et je suis incroyablement béni de vous avoir dans ma vie, et je ne pourrai jamais assez vous remercier pour cela.

### **Mes amis**

Ainsi, je vous adresse mes plus sincères remerciements pour votre amitié précieuse. Vous êtes un rappel constant de la beauté de l'amitié, Que notre amitié continue de grandir, de prospérer et de briller.

À tous les êtres chers dont leur soutien m'a été indispensable et qui attendent avec impatience ma réussite.

En espérant être à la hauteur de leurs attentes.

**Miloud**

## Dédicaces

A mes parents, toujours là pour moi, Merci pour votre soutien, pour vos précieux conseils et pour votre amour. Vous m'avez toujours soutenu dans mes choix, dans mes études et dans mes moments de stress, Puisse Dieu tout puissant, vous préserver et vous accorder santé, longue vie et Bonheur.

Je dédie ce modeste travail à

A mes chers parents pour leur amour inestimable, leur tendresse, leur confiance, leur soutien, leur sacrifice et leurs prières tout au long de mes études, Puisse Dieu tout puissant leur accorde santé, bonheur et longue vie.

A ma chère sœur Asma qui a partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail.

A mon très cher ami hako que j'aime profondément.

A tous les membres de ma famille petits et grands

Veillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.

A la personne qui m'a réconforté et m'aider à trouver des solutions, je ne te remercierai jamais assez pour tout ce que tu as fait pour moi. Je voulais que tu saches à quel point ton soutien a été d'une grande aide pour moi.

A mon chère binôme Miloud qui m'a soutenu et encouragé pendant tous les moments difficiles.

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

A tous ceux que j'aime.

**Houssem**

## Résumé

La protection incendie au sein des établissements, notamment les universités est un vaste domaine scientifique, il est donc important dans la mesure du possible, d'appliquer la 'grande règle' de la protection incendie : la prévention. L'une des la meilleure méthode de prévention et la plus sûre, la plus pratique et la moins chère est de créer et de modéliser un scénario à l'aide d'un logiciel de simulation avec différents exemples vérifiés.

Il est bien connu que le risque d'incendie dans les laboratoires est élevé, ou les plans d'évacuation et de sauvetage permettent d'intervenir et de contrôler en cas d'urgence. Afin d'étudier les différents effets du feu, PyroSim est utilisé pour effectuer des simulations d'incendie au niveau d'un laboratoire de chimie, et pour déterminer le comportement optimal d'évacuation en cas d'incendie par simulation, nous utilisons le Pathfinder.

**Mots clés :** ERP, Incendie, Audit, Prevention, PyroSim, Pathfinder, Jumeau numérique

### نبذة مختصرة

تمثل الحماية من الحرائق داخل المؤسسات خاصة الجامعات مجالاً علمياً واسعاً، لذلك من المهم، قدر الإمكان، تطبيق "القاعدة الرئيسية" في الحماية من الحرائق - الوقاية. ولعل واحدة من أفضل الطرق وأكثرها أماناً وعملية وأرخص طريقة للوقاية هي إنشاء ونمذجة سيناريو باستخدام برامج المحاكاة ومن المعروف أن مخاطر نشوب حريق في المخابر عالية حيث تسمح خطط الإخلاء والإنقاذ بالاستجابة ووضع السيطرة في حالة الطوارئ. من أجل دراسة تأثيرات الحريق المختلفة، نستخدم PyroSim و Pathfinder لإجراء محاكاة الحريق ومن أجل تحديد السلوك الأمثل للإخلاء

**الكلمات المفتاحية:** المؤسسات المستقبلية للجمهور، النار، التدقيق، الوقاية، PyroSim، Pathfinder، التوأم الرقمي

Fire protection within establishments, particularly universities, is a vast scientific field, so it is important, as far as possible, to apply the 'great rule' of fire protection: prevention. Perhaps one of the best, safest, most practical and cheapest methods of prevention is to create and model a scenario using simulation software.

It is well known that the risk of fire in laboratories is high, where evacuation and rescue plans allow for intervention and control in the event of an emergency. In order to study the different effects of fire, PyroSim and Pathfinder. Are used to perform fire simulations at the level of a chemical laboratory. and to determine the optimal evacuation.

**Keywords:** ERP, Fire, Audit, Prevention, PyroSim, Pathfinder, Digital Twin

# Table des matières

## **Chapitre 1 : Les établissements recevant du public en Algérie : types, classification et réglementation ..... 6**

1.1	Les types des établissements recevant du public (ERP).....	6
1.1.1	Notions de base et définitions .....	6
1.1.2	Classification des établissements .....	7
1.1.2.4.1	Mode de calcul de l'effectifs des E.R.P. par type .....	12
1.2	Législation algérienne relative aux établissements recevant du public.....	15
1.2.1	Les points essentiels à respecter lors de la construction d'un ERP .....	15
1.2.2	Règlementation algérienne de sécurité contre les risques d'incendie .....	16
1.2.3	Application des normes internationales de sécurité et de lutte contre les risques d'incendies .....	17
1.2.4	Les obligations dans une ERP .....	17
1.2.5	Dispositifs de protection et prévention des risques d'incendie et de panique ...	20
1.3	Conclusion.....	29

## **2 Chapitre 02 : les incendies dans les établissements recevant du public de type R et les causes possibles conduisant à un incendie dans un laboratoire universitaire..... 30**

2.1	Incendie dans les établissements recevant du public (ERP).....	30
2.1.1	Généralités sur l'incendie.....	31
2.1.2	Cas particulier d'incendie : .....	34
2.1.2.1	Le « BACKDRAFT ».....	34
2.2	Les Accidents dans les établissements d'enseignement (Type : R).....	37
2.2.1	Les causes possibles conduisant à un incendie dans une établissement recevant du public (Exemple d'un laboratoire de chimie universitaire).....	37
2.2.2	Retour d'expérience .....	37
2.2.3	Les causes les plus courants .....	38
2.2.4	Statistiques sur les incendies dans les laboratoires .....	42
2.3	Arbre de défaillance sur incident dans un Laboratoire de chimie universitaire .....	44
2.3.1	Principe.....	44
2.3.2	Définition et objectifs.....	45
2.3.3	Les éléments et composants .....	46
2.3.1	Les étapes de la construction de l'arbre de défaillances .....	47
2.3.2	L'Arbre de défaillance.....	47
2.4	Conclusion.....	52

<b>3</b>	<b>Chapitre 03 : Audit sur les moyens de prévention mise en place pour l'incendie dans le laboratoire de chimie.....</b>	<b>54</b>
3.1	But et périmètre de l'audit.....	54
3.2	Vue Règlementaire d'audit .....	55
3.2.1	Normes internationales relatives à la sécurité incendie qui peuvent être applicables au laboratoire de chimie : .....	55
3.3	L'évaluation des risques.....	57
3.3.1	Identification des risques majeurs .....	57
3.3.2	Les risques les plus courants dans le laboratoire.....	58
3.3.3	Matières potentiellement dangereuses qui conduisent à un incendie.....	60
3.3.4	Les procédés et les activités dangereux les plus répétitifs dans le labo de chimie qui conduisant un incendie.....	66
3.4	Check-list d'évaluation et vérification des mesures de prévention mise en place et la conformité aux réglementations .....	70
3.5	Discussion de résultat et les écarts par rapport aux réglementations .....	77
3.5.1	Conclusion de la vérification et l'évaluation de conformité .....	77
3.6	Les mesures recommandées et les moyens de prévention nécessaire et conforme contre l'incendie.....	79
3.6.1	Moyens passifs .....	80
3.6.2	Moyens actifs .....	84
3.7	Conclusion.....	85
<b>4.</b>	<b>Chapitre 04 : Simulation FDS .....</b>	<b>87</b>
4.1	Présentation .....	88
4.1.1	Plan de travail: Building Model .....	88
4.1.2	Cas d'étude.....	89
4.1.3	Les scenarios d'incendie modélisés .....	89
4.2	Fire Dynamics Simulator (FDS).....	90
4.3	SMOKEVIEW.....	90
4.4	PYROSIM .....	91
4.4.1	Les avantages de PyroSim.....	91
4.4.2	Méthodologie de simulation.....	92
4.4.3	Application de modélisation.....	92
4.5	Pathfinder.....	98
4.5.1	Méthodologie de simulation.....	99
4.5.2	Application de la simulation .....	100

4.5.3	Les résultats de chaque scenario .....	104
4.6	Discussion et analyse des résultats obtenus.....	113
4.6.1	Scenario 01 :.....	113
4.6.2	Scenario 02 :.....	114
4.6.3	L'évacuation .....	115
4.6.4	Simulation d'évacuation s'il existe des sorties de secours.....	115
4.7	Conclusion.....	118
<b>5.</b>	<b>Système de protection développé .....</b>	<b>119</b>
5.1	Protection du laboratoire en temps réel .....	120
5.1.1	Définition .....	120
5.1.2	Principe.....	120
5.1.3	Les avantages des jumeaux numériques.....	120
5.1.4	Comment cette technologie peut nous aider à renforcer notre protection ?.....	121
5.1.5	Comment ça marche ! .....	122
5.1.6	Les nécessaires pour le jumeau numérique .....	123
5.2	Les systèmes accompagnants de jumeau numérique :.....	126
5.2.1	Système de gestion de stockage des produits chimiques .....	126
5.2.2	Système de sécurité incendie intelligent : .....	129
5.2.3	Système d'automatisation du bâtiment : .....	132
5.3	Réalisation d'un jumeau numérique .....	132
5.3.1	Exemple d'un jumeau numérique pour notre laboratoire de chimie .....	133
5.4	Conclusion.....	134
	<b>Conclusion générale .....</b>	<b>135</b>
	<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>137</b>



## **Abréviations**

ERP :	Établissement Recevant du Public
IOP :	Installation ouverte au public
PMR :	Personnes à Mobilité Réduite
SI :	Sécurité Incendie
SSI :	Système de Sécurité Incendie
EPI :	Équipement de Protection Individuelle
FTA :	Fault Tree Analysis
FMEA:	Failure Modes and Effects Analysis
ADD:	L'arbre de défaillance
FDS :	FDS : Fire Dynamics Simulator
CFD :	Computational Fluid
IoT:	IoT: Internet of Things

## Listes des tableaux

Tableau 1.1 :	Les établissements d'exposition	10
Tableau 1.2 :	Les établissements généraux	11
Tableau 1.3 :	Les établissements spécialisés	11
Tableau 1.4 :	Capacité maximum de chaque type d'établissement	14
Tableau 2.1 :	Probabilités d'occurrence des causes techniques	48
Tableau 2.2 :	Probabilités d'occurrence des sources chimiques	49
Tableau 2.3 :	Probabilités d'occurrence des sources électriques	50
Tableau 2.4 :	Probabilités d'occurrence de problèmes relative au stockages inappropriés	50
Tableau 2.5 :	Probabilités d'occurrence de problèmes relative à la ventilation	51
Tableau 2.6 :	Probabilités d'occurrence des causes humaines	51
Tableau 2.7 :	Probabilités d'occurrence des causes les plus courants	52
Tableau 3.1 :	Les substances dangereuses couramment utilisées en laboratoire et ses caractéristiques	62
Tableau 3.2 :	Les gaz couramment trouvés en laboratoire et ces caractéristiques	64
Tableau 3.3 :	Les solides les plus utilisés dans un laboratoire de chimie et ces caractéristiques	66
Tableau 3.4 :	Des procédés et les activités qui comportent des risques d'incendie	70
Tableau 3.5 :	Check-list d'évaluation de l'infrastructure	71
Tableau 3.6 :	Check-list d'évaluation des conditions de travail	72
Tableau 3.7 :	Check-list d'évaluation de la manipulation avec les agents chimique	72
Tableau 3.8 :	Check-list d'évaluation de stockage des substances chimiques	73
Tableau 3.9 :	Check-list d'évaluation de la lutte contre l'incendie	74
Tableau 3.10 :	Check-list d'évaluation des installations électrique	75
Table :au 3.11 :	Check-list d'évaluation des généralités	76
Table :au 3.12 :	Check-list d'évaluation d'Organisation	77

## Liste des figures

Figure 1.1 :	Les unités de passage	21
Figure 2.1 :	Les éléments essentiels qui conduisent à un incendie « triangle du feu »	32
Figure 2.2 :	Les étapes de développement d'un incendie	33
Figure 2.3 :	Les modes de propagation du feu	34
Figure 2.4 :	Backdraft	35
Figure 2.5 :	Flashover	36
Figure 2.6 :	Schéma de construction d'une ADD	47
Figure 2.7 :	ADD des causes techniques	48
Figure 2.8 :	ADD des sources chimiques	49
Figure 2.9 :	Des sources électriques	49
Figure 2.10 :	ADD de stockages inappropriés	50
Figure 2.11 :	ADD de problèmes de ventilation	51
Figure 2.12 :	ADD des causes humaines	51
Figure 2.13 :	ADD des causes les plus courants	52
Figure 3.1 :	Zones d'explosivité	62
Figure 3.2 :	Résistance des matériaux au feu	81
Figure 4.1 :	Plan de masse de IMSI	88
Figure 4.2 :	Plan réel de notre de l'institut de maintenance et sécurité industrielle	89
Figure 4.3 :	Importer le fichier de plan	93
Figure 4.4 :	Création de maillage	93
Figure 4.5 :	Création de la réaction	94
Figure 4.6 :	Les paramètres de la surface	94
Figure 4.7 :	Les coupes utilisées	95
Figure 4.8 :	Les paramètres de vent	95
Figure 4.9 :	Modifications des paramètres de la simulation	96
Figure 4.10 :	Les paramètres de la simulation	96
Figure 4.11 :	Démarrage de la simulation	97
Figure 4.12 :	Résultats de PyroSim	97
Figure 4.13 :	Résultats de SmokeView	98
Figure 4.14 :	Importation du modèle	100
Figure 4.15 :	Création des profils	100
Figure 4.16 :	Définition des comportements	101

Figure 4.17 :	Extraction des pièces	101
Figure 4.18 :	Définition des sorties	102
Figure 4.19 :	Placement des occupants	102
Figure 4.20 :	Configuration des paramètres de simulation	103
Figure 4.21 :	Lancement de la simulation	103
Figure 4.22 :	Début de l'incendie	104
Figure 4.23 :	Début de développement a t= 5s	104
Figure 4.24 :	Développement a t= 11s	105
Figure 4.25 :	Développement a t= 40s	105
Figure 4.26 :	Développement a t= 50s	106
Figure 4.27 :	Développement a t= 60s	106
Figure 4.28 :	Développement a t= 120s	106
Figure 4.29 :	Développement a t= 300s	107
Figure 4.30 :	Début de l'incendie	107
Figure 4.31 :	La propagation du feu a t=3s	108
Figure 4.32 :	La propagation du feu a t=30s	108
Figure 4.33 :	La propagation du feu a t=40s	109
Figure 4.34 :	La propagation du feu a t=82s	109
Figure 4.35 :	La propagation du feu a t=300s	110
Figure 4.36 :	Importation des résultats obtenu par PyroSim a Pathfinder	110
Figure 4.37 :	Début de la simulation synchronisée	111
Figure 4.38 :	L'évacuation de 100 occupants	111
Figure 4.39 :	L'évacuation de 450 occupants	112
Figure 4.40 :	L'évacuation après 300 secondes	112
Figure 4.41 :	Emplacement des sorties de secours	116
Figure 4.42 :	L'état de l'évacuation des occupants a t=5.9s	116
Figure 4.43 :	L'état de l'évacuation des occupants a t=18.6s	117
Figure 4.44 :	L'état de l'évacuation des occupants a t=58s	117
Figure 5.1 :	Représentation virtuelle de notre laboratoire avant l'aménagement	133

## Introduction générale

Un ERP (Etablissement Public d'Accueil) est une structure ou un lieu physique où des personnes peuvent se rassembler pour diverses activités, qu'elles soient commerciales, éducatives, culturelles ou de loisirs. Leur principal objectif est d'accueillir le public en toute sécurité et de lui offrir les meilleures conditions de sécurité, d'accessibilité et de confort pour que les personnes puissent se rencontrer, assister à des événements, accéder à des services et bénéficier d'équipements adaptés à leurs besoins. Cela comprend les entreprises, les établissements d'enseignement, les hôpitaux, les cinémas, les hôtels, les stades, les lieux de culte, les musées, les bibliothèques, les gymnases, etc. Se conformer aux réglementations et normes en vigueur et applicables pour la sécurité et la protection de ceux qui les fréquentent. Ces lois et réglementations varient d'un pays à l'autre, mais elles partagent tous les objectifs de prévention des risques, de sécurité incendie, d'accessibilité pour les personnes handicapées et de promotion de normes de construction appropriées.

Ces établissements comme toutes les autres endroits et structures peuvent être exposés à des sinistres et surtout les incendies qui sont constitués un risque majeur en termes de sécurité, en raison de la présence d'un grand nombre de personnes dans ces lieux, Pour faire face à ce risque, des réglementations spécifiques en matière de sécurité incendie sont mises en place pour les ERP. Celles-ci incluent des mesures de prévention, de protection et d'intervention en cas d'incendie et c'est pourquoi il est important de mettre en place des mesures préventives, des équipements de protection appropriés et des procédures d'intervention efficaces pour réduire le risque d'incendie, assurer la sécurité des personnes et limiter les dommages potentiels.

Les incendies dans les ERP peuvent être causés par divers facteurs tels que des défaillances électriques, des matériaux inflammables, des systèmes de chauffage défectueux, des erreurs humaines ou des actes intentionnels. Les conséquences d'un incendie dans un ERP peuvent être dramatiques, entraînant des pertes en vies humaines, des blessures, des dommages matériels considérables et des perturbations dans les activités quotidiennes.

L'un des établissements recevant des publics importants et qui nécessite une précaution spéciale sont les universités et les institutions d'enseignement supérieur qui accueillent un grand nombre d'étudiants, de personnel et de visiteurs chaque jour. En tant qu'établissements recevant du public (ERP), les universités doivent accorder une attention particulière à la sécurité incendie pour assurer la protection de leurs occupants et en raison de la taille et de la

## INTRODUCTION GENERALE

---

diversité des activités qui s'y déroulent, les universités peuvent être considérées comme des ERP complexes. Elles abritent une variété de bâtiments, tels que des salles de classe, des laboratoires, des bibliothèques, des résidences étudiantes, des installations sportives, etc. Chacun de ces espaces présente des risques spécifiques en termes de sécurité incendie, nécessitant une approche globale de gestion des risques.

Selon les statistiques de l'enquête, l'endroit où se produisent le plus d'incendies est le laboratoire, en particulier le laboratoire de chimie et d'autres disciplines, qui est un environnement pour manipuler des substances potentiellement dangereuses et effectuer des réactions chimiques complexes. En raison de la nature des activités qui s'y déroulent, des mesures de protection contre les incendies appropriées doivent être mises en place pour assurer la sécurité des occupants et prévenir les incendies. À cette fin, on peut dire que la protection contre l'incendie dans les laboratoires universitaires repose sur une série de précautions strictes, notamment la formation des chercheurs et des étudiants sur les bonnes pratiques de manipulation des produits chimiques, le stockage approprié des substances inflammables, La gestion des déchets et l'entretien couvrant des équipements de sécurité, des protocoles stricts pour l'utilisation des sources de chaleur, l'extinction des incendies et l'élimination des produits chimiques, ainsi que la mise en place de protocoles de sécurité clairs et observés à tout moment.

Ces dernières années, la science du feu est devenue de plus en plus mature. Actuellement, les recherches pertinentes couvrent les transports, les champs ouverts, les usines, les hôpitaux, les centres commerciaux et de nombreux autres lieux publics. Cependant, la simulation numérique du feu reste au stade de développement, ne rattrapant pas le rythme du développement social. Cela nécessite des recherches approfondies sur les nouvelles caractéristiques de la sécurité incendie, soit les bâtiments collégiaux dans le contexte de la réforme pédagogique et du progrès technologique. En se concentrant sur les incendies à l'intérieur des bâtiments des collèges, cette étude analyse la sécurité des bâtiments des universités et explore la source des risques d'incendie dans les universités. Ensuite, un modèle de simulation a été construit sur la base de PyroSim et Pathfinder, en fonction de l'emplacement de la source d'incendie, du type de croissance du feu et du taux de dégagement de chaleur maximal. Le modèle établi a été adopté pour simuler le processus d'incendie et l'évaluation dans les bâtiments de l'institut au niveau de l'université. Les lois d'évolution de la température et de la visibilité au feu ont été obtenues par simulation numérique. Enfin, le comportement d'évacuation a été simulé en fonction de la concentration du feu et de la fumée.

### **Problématique**

Lors d'un incendie, la fumée est considérée comme plus mortelle que l'incendie à partir duquel elle est générée. Heureusement, la fumée et le feu peuvent facilement être simulés à l'aide de divers logiciels de simulation existants afin de minimiser les effets mortels des incendies. La dynamique des fluides computationnelle et en particulier la simulation des grandes turbulences peuvent être utilisées pour modéliser les incendies, leurs caractéristiques et leurs caractéristiques avec une efficacité suffisante. Le simulateur de dynamique du feu utilisé par les chercheurs qui étudient toutes sortes de processus et de risques d'incendie,

Ce modèle peut être utilisé efficacement pour la détermination des limites d'inflammabilité et d'explosivité dans une zone fermée et également pour la variation des données de concentration de contaminants dans les emplacements dangereux avec le temps.

Au sein dans notre institut de maintenance et de sécurité industrielle où se déroule la simulation de la propagation du feu et l'évacuation du personnel nous cherchons à l'aide des différents scénarios l'effet de fumés et la difficulté d'exercer l'évacuation des gens lors d'un incendie

### **Démarche de la recherche**

Cette étude aborde de manière détaillée les différents aspects liés aux établissements recevant du public (ERP) en se focalisant sur les classes, les types et les catégories de ces établissements, ainsi que sur l'approche réglementaire qui les encadre. En outre, nous explorerons les risques d'incendie spécifiquement dans les ERP, en nous concentrant sur les universités et les laboratoires des universités. Ensuite, nous présenterons un exemple d'audit d'un laboratoire de chimie universitaire, suivi d'une simulation de la propagation du feu et de l'évacuation du personnel à l'aide des outils PyroSim et Pathfinder. Enfin, nous aborderons les mesures de prévention et les barrières de sécurité mises en place dans les ERP pour assurer la sécurité des occupants.

### **Objectifs d'étude**

Etudier comment le feu et les fumés se propagent

Visualiser les prédictions numériques générées par le modèle de simulation dynamique du feu

Simuler le comportement des personnes lors d'une évacuation en cas d'incendie

## **Méthodologie de recherche**

Approche descriptive

Approche Analytique

Simulation de deux scénarios de propagation du feu et processus d'évacuation

Elaboration de nouvelles barrières et conclusion générale

## **Structure du mémoire**

**Chapitre\_01** : Les classes, les types et les catégories des établissements recevant du public

Dans cette première partie, nous nous pencherons sur les différentes classifications des ERP. Les établissements recevant du public sont regroupés en classes en fonction de leur capacité d'accueil, de leurs activités et des risques associés. Nous examinerons également les différents types d'ERP, tels que les établissements de soins, les établissements d'enseignement, les salles de spectacle, etc. Enfin, nous étudierons les catégories d'ERP qui définissent les exigences réglementaires spécifiques pour chaque type d'établissement, et nous analyserons en détail l'approche réglementaire appliquée aux ERP. Nous examinerons les différentes normes et réglementations qui régissent la conception, la construction, l'aménagement, la sécurité incendie et l'accessibilité des ERP. Cette analyse permettra de mieux comprendre les responsabilités des propriétaires et des gestionnaires d'ERP en matière de conformité aux normes et aux réglementations.

**Chapitre 02** : Les risques d'incendie dans les établissements recevant du public

Cette partie se concentrera sur les risques d'incendie spécifiquement dans les ERP. Nous identifierons les facteurs de risque courants, tels que les équipements électriques, les matériaux inflammables et les défaillances humaines, qui peuvent entraîner des incendies dans les ERP, et dans la deuxième section de ce chapitre nous présenterons un exemple concret d'audit d'un laboratoire de chimie universitaire. Nous examinerons les procédures d'audit, les critères d'évaluation et les recommandations pour assurer la sécurité incendie dans ce type d'environnement spécifique. L'objectif est d'identifier les mesures préventives et les pratiques de sécurité essentielles pour minimiser les risques d'incendie et protéger le personnel et les installations.



### **Chapitre 03** : Audit sur les mesures de sécurité incendie dans un laboratoire

L'objectif de l'audit est d'évaluer l'efficacité des protocoles de sécurité existants afin de prévenir et de gérer les incendies. Les principaux objectifs de cet audit comprennent l'examen des normes et réglementations en matière de sécurité incendie, l'analyse des procédures et des protocoles de sécurité en place, l'évaluation des équipements de sécurité, la vérification de la formation et de la sensibilisation du personnel, ainsi que l'identification des faiblesses spécifiques au laboratoire de chimie et la proposition de recommandations pour améliorer la sécurité incendie. En réalisant cet audit, l'objectif est d'assurer un environnement de travail sûr et de réduire les risques potentiels pour le personnel et les installations du laboratoire.

### **Chapitre 04** : Simulation de la propagation du feu et évacuation du personnel

Dans cette partie, nous introduirons les outils de simulation PyroSim et Pathfinder, largement utilisés pour évaluer la propagation du feu et planifier l'évacuation des occupants dans les ERP. Nous expliquerons comment ces outils permettent de modéliser les scénarios d'incendie, d'analyser les chemins d'évacuation et de mettre en place des stratégies efficaces pour la sécurité des occupants.

### **Chapitre 05** : Jumeau numérique comme un système de protection avancée

On explore l'utilisation du jumeau numérique en tant que dispositif de sécurité avancé pour prévenir les accidents et garantir la sécurité dans les laboratoires de chimie et mettre en évidence l'importance de la modélisation numérique et de la simulation pour évaluer les risques potentiels, optimiser les procédures de sécurité et améliorer la préparation aux situations d'urgence, les principaux objectifs de ce chapitre sont de présenter le concept du jumeau numérique, d'examiner ses avantages en tant que barrière de sécurité

Cette recherche approfondie permettra de comprendre de manière détaillée les différentes facettes des établissements recevant du public, notamment leur classification, l'approche réglementaire qui les entoure, les risques d'incendie spécifiques aux universités et aux laboratoires, la propagation du feu dans un endroit plein de public et les techniques d'évacuation adaptés à l'aide de l'outil produit par la société Thunderheadeng et on finalisent notre mémoire avec des propositions des nouveaux barrières intelligentes de sécurité qui peuvent réduire les incendies et ces conséquences dans les laboratoires et aident à garantir la protection de personnel dans les locaux et les surfaces.

## **Chapitre 1 : Les établissements recevant du public en Algérie : types, classification et réglementation**

### **1.1 Les types des établissements recevant du public (ERP)**

Les établissements recevant du public représentent une catégorie particulière des bâtiments et immeuble et grâce à ces caractéristiques et leur capacité de recevoir un nombre important des personnes les biens à la fois, ils reçoivent des publics différents, ils occupent une place centrale dans notre vie quotidienne, en offrant des services indispensables tels que les hôpitaux, une bibliothèque, un centre commercial, une mosquée ou une piscine. Leurs exigences de conception et d'exploitation ne sont donc pas identiques, c'est pour cela qu'il va nous falloir de bien classer de ces derniers et avant d'approfondir l'étude en matière de sécurité, nous allons nous intéresser d'abord à définir de manière globale les concepts de base liés à ce type d'équipements et nous devons connaître également leur classement, typologie, caractéristiques et leurs spécificités à prendre en considération lors des travaux de construction et de modifications. Et connaître ainsi tout ce qui conditionne la réglementation qui lui est applicable ainsi les normes pour le but de préserver la sécurité et assurer la sante.

#### **1.1.1 Notions de base et définitions**

##### **1.1.1.1 ERP**

Selon l'article 5 du décret n° 76-36 du 20 février 1976 est définie : « Sont considérés comme établissements recevant du public, tous ceux dans lesquels des personnes sont admises soit librement, soit moyennant une rétribution ou une participation quelconque, ou dans lesquels sont tenues des réunions ouvertes à tout venant ou sur invitation payante ou non. » [1]

Selon la direction française de l'information légale et administrative (Premier ministre, 2019). Constituent des établissements recevant du public, Tous bâtiments, locaux et enceintes dans lesquels des personnes sont admises, soit librement, soit moyennant une rétribution ou une participation quelconque ou dans lesquels sont tenues des réunions ouvertes à tout venant ou sur invitation, payante ou non. Sont considérées comme faisant partie du public, toutes les personnes admises dans l'établissement à quelque titre que ce soit en plus du personnel. [2]

Les établissements recevant du public (ERP) sont des lieux où des personnes extérieures à l'entreprise ou à l'organisation sont admises, accueillies ou reçues pour des activités qui ne sont ni commerciales ni industrielles. Ces lieux sont généralement accessibles au public où des personnes extérieures sont autorisées à entrer et à circuler librement, que ce soit de manière occasionnelle ou habituelle. Peuvent inclure des bâtiments public ou privé tels que

des magasins, des restaurants, des hôtels, des musées, des établissements de santé, des écoles, des cinémas, des théâtres, des salles de concert et des stades, entre autres. [3]

### **1.1.1.2 Installation ouverte au public (IOP)**

Les installations ouvertes au public (IOP) regroupent les espaces publics ou privés qui desservent des ERP, les aménagements permanents et non rattachés à un ERP, tels que les circulations principales des jardins publics, les cimetières, les aménagements divers en plein air incluant des tribunes et gradins, les parties non bâties des terrains de camping et autres terrains aménagés pour l'hébergement touristique, étant précisé que les éléments de mobilier urbain doivent être accessibles lorsqu'ils sont intégrés à une IOP. [12]

### **1.1.1.3 Public**

Selon le code de la construction et de l'habitation (CCH, 2019). Est considérée comme faisant partie du public toute personne admise dans un établissement recevant du public à quelque titre que ce soit en plus du personnel. [5]

A savoir :

- S'il s'agit d'une entreprise qui accueille du personnel et non du public, il ne s'agira pas d'un ERP.
- Quand une personne exerce une activité libérale (médecin, expert-comptable, avocat...) dans sa résidence familiale, le local n'est pas considéré comme un ERP.
- Les lieux non clos, ou non couverts, comme une station-service ou un parking ne sont pas considérés comme des ERP. Sauf si l'activité principale de ces espaces est modifiée.

## **1.1.2 Classification des établissements [6] [7]**

Ces établissements reçoivent des publics différents, comme c'est le cas entre une crèche et un cinéma. Les exigences de conception et d'exploitation ne sont donc pas les mêmes. Donc pour une bonne gestion et l'application du règlement de sécurité, les établissements recevant du public sont classés par catégories d'après l'effectif du public et du personnel, en fonction de leur capacité d'accueil, ainsi que par type s selon la nature de leur exploitation, en fonction de leur activité.

### **1.1.2.1 Les différentes catégories d'Établissements Recevant du Public**

Les ERP en Algérie sont classés en catégories qui définissent les exigences réglementaires applicables tels que : le type d'autorisation de travaux, les règles de sécurité et d'accessibilité etc. Ces exigences doivent être définir en fonction des risques potentiels.

Et pour ce là il existe 5 catégories d'ERP qui sont déterminées en fonction de la capacité d'accueil d'un bâtiment (l'effectif du public et du personnel).

- 1ère catégorie : au – dessus de 1500 personnes
- 2ème catégorie : de 701 à 1500 personnes
- 3ème catégorie : de 301 à 700 personnes
- 4ème catégorie : inférieur ou égal à 300 personnes
- 5ème catégorie : établissements dans lesquels l'effectif du public est inférieur au minimum fixé par le règlement sécurité incendie pour chaque type d'exploitation.

Pour l'application du règlement de sécurité, les 5 catégories sont classées en 2 groupes :

- 1er groupe : comprend les établissements des 4 premières catégories. Pour les ERP du premier groupe, le nombre de personnes pris en compte pour la détermination de la catégorie intègre à la fois le public et le personnel n'occupant pas des locaux indépendants qui posséderaient leurs propres dégagements.
- 2ème groupe : ne concerne que les établissements de la 5ème catégorie. Pour les ERP de second groupe (petits établissements), ne comprend que le public (et pas le personnel).

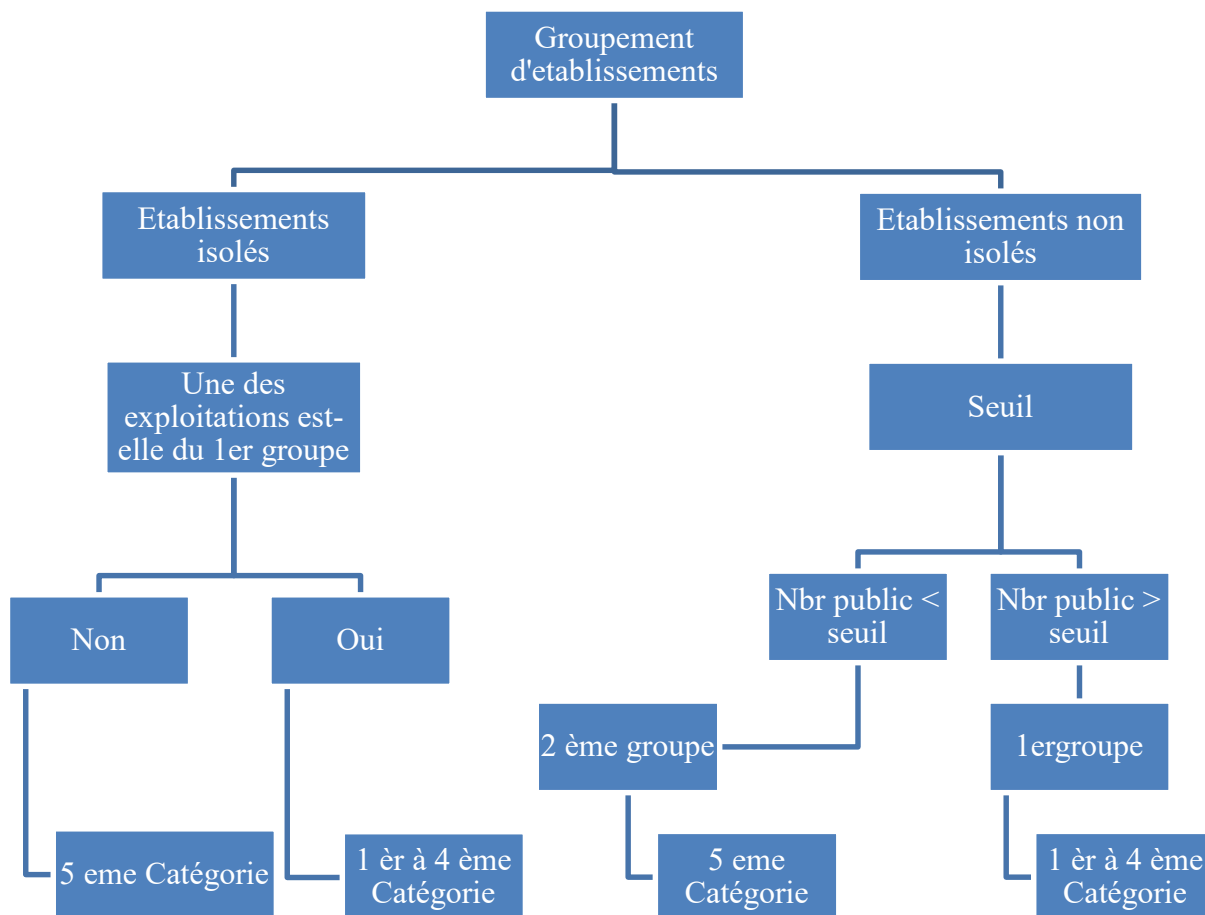
Le classement des ERP par catégorie en Algérie se fait donc en fonction de l'effectif maximal de public que l'établissement peut recevoir. Par contre, les ERP au niveau international sont classés en 5 catégories et 2 groupes. La 5 -ème catégorie concerne tous les établissements situés en dessous du seuil de classement, seuil variable selon la nature de l'exploitation.[1] [7]

Ces établissements sont assujettis à des mesures allégées propres en raison des faibles effectifs qu'ils accueillent.

### **1.1.2.2 Méthode de classement des groupements d'ERP**

La catégorie d'un tel groupement est déterminée d'après l'effectif total des personnes admises, obtenu en additionnant l'effectif de chacune des exploitations. Si les exploitations sont de types différents, l'effectif limite du public à retenir entre la 4ème catégorie et la 5ème

catégorie est l'un des nombres cités dans le schéma ci-dessus.



**1.1.2.3 La classification par type [6] [7]**

Les ERP sont classés par type en fonction de la nature de leur exploitation. Le type est désigné par une lettre, Ces derniers étant répartis en trois classes selon le classement suivant :

**L'établissement d'exposition** : qui comportant soit un aménagement scénique, soit des appareils de projection cinématographique.

Type	Etablissement
A	1. Scène comportant un ou plusieurs dessous. 2. Scène ne comportant pas de dessous, mais dont la surface est supérieure à 150 m <sup>2</sup> ou dont le volume est supérieur à 1200 'm ou dont l'une des dimensions linéaires excède 24 mètres.

B	Scènes ne comportant pas de dessous, mais dont la surface est égale ou inférieure à 150m <sup>2</sup> , dont le volume est égal ou inférieur à 1200m <sup>3</sup> , et dont chacune des dimensions linéaires est inférieure à 24m.
C	Estrade fixe, adossée à un mur de salle, y compris les pros- césiums.
D	Estrade non adossée, pistes, plateaux ou planchers fixes.
E	Pistes, plateaux ou dispositifs mobiles installés dans une salle et actionné par engins mécaniques.
F	Installations cinématographiques pour films sur support de sécurité de tous les formats utilisant : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Soit un ou plusieurs appareils fonctionnant avec une lampe à arc.</li> <li>• Soit plusieurs appareils fonctionnant avec une source de lumière en enceinte étanche.</li> <li>• Soit enfin, un ou plusieurs appareils à grande capacité avec ou sans cartes, fonctionnant obligatoirement avec une course de lumière en enceinte étanche.</li> </ul>
G	Installations cinématographiques pour films sur support de sécurité, mais n'utilisant qu'un seul appareil avec source de lumière en enceinte étanche. Deux projecteurs dits Jumelés fixés sur même pied sont assimilés à un appareil unique lorsqu'ils n'utilisent que des films d'un format inférieur à 35mm.

Tableau 1.1 : Les établissements d'exposition

**Les établissements généraux** : comportent les types définis par le tableau suivant :

Type	Nature de l'exploitation
L	Bains à vapeur et douches publiques
M	Magasins de vente, centres commerciaux, etc
N	Restaurants, café, brasseries, débits de boissons, bar.
O	Hôtels à voyageur, hôtels meublés, pensions de familles
P	Salles de danse, salles de réunions et salles de jeux

R	Etablissements d'éveil, d'enseignement, de formation, centres de vacances, centres de
S	Bibliothèques ou centres de documentation, musées publics et privés.
T	Salles d'expositions
U	Etablissements de soins sans hébergement ou avec hébergement
V	Etablissements de culte
W	Administrations, banques, bureaux
X	Etablissements sportifs couverts

Tableau 1.2 : Les établissements généraux

**Les établissements spécialisés** : comportent 8 types définis par le tableau suivant :

Type	Nature de l'exploitation
PA	Etablissements de plein air
CTS	Chapiteaux, tentes et structures
SG	Structures gonflables
PS	Parcs de stationnement couverts
GA	Gares
OA	Hôtels et restaurants d'altitude
EF	Etablissements flottants
REF	Refuges de montagne

Tableau 1.3 : Les établissements spécialisés

On constate que le classement des ERP en fonction de leurs activités en Algérie correspond à celui du classement international. (Il y a une différence dans un seul type Y qu'il n'existe pas en Algérie mais on le trouve dans des autres pays).

Pour y voir plus clair le classement et la classification voici quelques exemples :

- Une maison de retraite sera classée en catégorie 5 si elle accueille moins de 25 résidents, et en catégorie 4 si elle accueille entre 25 et 300 résidents
- Une boutique de 100 m<sup>2</sup> en rez-de-chaussée, dont la capacité d'accueil est de moins de 200 personnes sera classée en catégorie 5 s'il est indépendant (devanture donnant sur une rue)

- Une salle de spectacle est classée en catégorie 5 si sa capacité d'accueil est de moins de 50 personnes, ou si elle est située en sous-sol, moins de 20 personnes

#### 1.1.2.4 Calcul d'effectifs [6]

Il est nécessaire de déterminer le nombre des personnes qui peuvent accéder à chaque type d'établissement et pour cela Le calcul de l'effectif du public est obtenu de la manière suivante :

- D'après le nombre de personnes admises,
- Le nombre de places assises,
- La surface réservée au public,
- La déclaration contrôlée du chef de l'établissement,
- Ou enfin par l'ensemble des indications fournies par ces divers éléments

##### 1.1.1.1.1 Mode de calcul de l'effectifs des E.R.P. par type

Type	Détermination de l'effectifs
Les établissements d'exposition	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les spectateurs assistent au spectacle sur des sièges fixes et debout dans les promenoirs ;</li> <li>• Le public assiste au spectacle en consommant sur des tables entourées de sièges fixes ou mobiles ;</li> <li>• Ajouter à l'effectifs du public ainsi déterminé celui du personnel accédant dans la salle (musicien, acteurs, serveurs, etc.) ;</li> </ul>
L	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 pers./2m<sup>2</sup> de la surface de la salle chaude ;</li> <li>• 1 pers./2m<sup>2</sup> de la surface de la salle de repos et par niveau</li> <li>• 1 pers./cabine de douche.</li> </ul>
M	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RdC : 2 pers./m<sup>2</sup> de la surface accessible au public</li> <li>• Sous-sol et 1er étage : 1 pers./m<sup>2</sup> de la surface accessible au public</li> <li>• 2ème étage : 1 pers./2m<sup>2</sup> de la surface accessible au public</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etages supérieurs : 1 pers./5m<sup>2</sup> de la surface accessible</li> </ul>
N	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 pers./m<sup>2</sup> de la surface totale des salle, déduction faite de la surface des estrades de musiciens</li> <li>• Dans les self-services l'effectif du public occupant les files d'attente : 3 pers./m<sup>2</sup></li> </ul>
O	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre de personnes pouvant occuper les chambres.</li> </ul>
P	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 pers./m<sup>2</sup> de la surface totale des salle, déduction faite de la surface des estrades de musiciens.</li> </ul>
R	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Déclaration du chef d'établissement</li> <li>• Sauf pour les salles d'éducation physique, les gymnases et les préaux : <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 1 pers./3m<sup>2</sup> de la surface le résultat ne se cumule pas avec celui déclaré par le chef d'établissement</li> </ul> </li> </ul>
S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Déclaration du chef d'établissement.</li> </ul>
T	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 pers./2m<sup>2</sup> de la surface totale des locaux auxquels le public a accès.</li> </ul>
U	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Déclaration justifiée du chef d'établissement (*) :</li> <li>• Pour le personnel fixé forfaitairement à 20 p/100 de celui des malades ou pensionnaires ;</li> <li>• Pour l'effectif des visiteurs déterminé suivant la déclaration contrôlée du chef d'établissement ;</li> <li>• Effectif globale des étudiant pouvant être reçu dans l'établissement ;</li> </ul>
V	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 pers/2 m2 de la surface susceptible d'être occupée par les fidèles</li> </ul>
W	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Déclaration du maître d'ouvrage ou de l'exploitant</li> </ul>
X	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 pers./m<sup>2</sup> de surface du bassin</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>• Établissement comportant des galeries :<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 1 pers/0.3 m de longueur de galerie ;</li></ul></li><li>• 2 pers/ m courant de gradin de places assises</li></ul>
--	--

Tableau 1.4 : Capacité maximum de chaque type d'établissement

**A savoir :**

- Plusieurs exploitations ayant des activités similaires ou des activités de types différents peuvent coexister dans un même bâtiment.
- La répartition en types d'établissements, ne s'oppose pas à l'existence, dans un même bâtiment, de plusieurs établissements de types divers ou similaires ne répondant pas individuellement aux conditions d'implantation et d'isolement.
- Un tel groupement ne doit être autorisé que si les établissements sont placés sous une direction unique responsable auprès de l'autorité communale et de la commission de prévention et de protection civile de la wilaya.
- Le groupement doit faire l'objet d'un examen spécial de la commission de prévention et de protection civile de la wilaya qui selon la catégorie et le type, doit déterminer les dangers que présente pour le public l'ensemble des établissements regroupés.

## 1.2 Législation algérienne relative aux établissements recevant du public

Quand on parle d'établissements publics, on parle de bâtiments ou d'espaces destinés à accueillir des visiteurs, que ce soit à des fins commerciales, culturelles ou sportives. Ces établissements sont soumis à des règles strictes de sécurité et d'accessibilité afin d'assurer la sécurité de ceux qui les visitent.

En effet, les risques dans ces lieux publics sont nombreux, qu'ils soient dus à des incendies, des mouvements de foule, des pannes techniques, ou autres sinistres. Pour éviter ces risques et assurer la sécurité de tous, les Etablissements Recevant du Public doivent respecter un ensemble de normes et de réglementations.

En Algérie, Décret n° 76-36 du 20 février 1976 relatif à la protection contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public fixe les normes de construction, de sécurité et d'accessibilité applicables aux établissements recevant du public. Ces normes regroupent tous les exigences que soit les installations électriques, les issues de secours, les dispositifs d'alarme et de lutte contre l'incendie, les équipements de sécurité, l'accessibilité pour les personnes à mobilité réduite, etc. [1]

### 1.2.1 Les points essentiels à respecter lors de la construction d'un ERP

- Respecter les normes d'accessibilité : l'ERP doit être accessible aux personnes handicapées ou à mobilité réduite.
- Respecter les normes de sécurité incendie : l'ERP doit être équipé de détecteurs de fumée, de dispositifs d'alarme, d'extincteurs, d'une évacuation rapide, etc.
- Respecter les normes de ventilation : l'ERP doit être doté d'un système de ventilation adéquat pour assurer la qualité de l'air et la circulation de l'air.
- Respecter les normes électriques : l'ERP doit être doté d'une installation électrique conforme aux normes en vigueur.
- Respecter les normes acoustiques : l'ERP doit être conçu de manière à limiter les nuisances sonores, tant pour les riverains que pour les utilisateurs du bâtiment.
- Respecter les normes de sécurité des équipements : l'ERP doit être équipé de matériels et équipements conformes aux exigences de sécurité.
- Respecter les normes d'isolation thermique : l'ERP doit être conçu de manière à limiter les pertes de chaleur en hiver et les gains de chaleur en été.
- Respecter les normes de construction : l'ERP doit être construit selon les règles applicables en matière de construction et urbanisme. [9]

### 1.2.2 Règlements algérienne de sécurité contre les risques d'incendie et de panique

Selon la direction générale de la protection civile. Nous devons plus que jamais savoir anticiper les catastrophes et mieux informer sur les conséquences et les risques, pour assurer une meilleure sécurité des biens et les personnes qui vivent et travaillent dans les établissements. Et pour cela Le Règlement de sécurité contre l'incendie dans les établissements recevant du public est fondé sur le principe de base que les bâtiments et les locaux doivent être conçus de manière à permettre de limiter risques d'incendie, d'alerter les occupants de la réalisation d'un sinistre, de favoriser leur évacuation, d'éviter la panique, permettre l'alerte des services de secours et faciliter leur intervention. [7]

Certains critères seront édictés par arrêtés n° 007/ DGPC/ SDSR du 13 mars 1977 portant approbation du règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public. Elles comprennent des dispositions générales communes et des dispositions particulières propres à chaque type d'établissement tels que l'aménagement, isolement, désenfumage, les installations, les sorties et les moyens de secours. Sont prévaloir pour la sévérité des mesures à appliquer. Il s'agit notamment :

- Du type d'établissement (selon l'activité).
- De la catégorie (selon l'effectif du public reçu).
- De la hauteur du plancher bas du dernier niveau accessible au public.
- De la présence de locaux à sommeil.
- De la présence de personnes handicapées circulant en fauteuil roulant dépassant un seuil fixé.

Par exemple :

- Lorsqu'un bâtiment est élevé, on lui demande une plus grande stabilité,
- Lorsqu'un bâtiment accueille un public en grand nombre, prévoir plus de sorties.
- Quand, l'activité implique un fort potentiel calorifique (magasin), on développera les moyens de secours...,

### 1.2.3 Application des normes internationales de sécurité et de lutte contre les risques d'incendies

D'après le service de la prévention de la direction de la protection civile, la réglementation algérienne ne possède pas de normes particulières en matière de sécurité et d'accessibilité, c'est pour cela que la commission et les contrôleurs des ERP au niveau de leurs services utilisent typiquement des normes universelles lors de leurs interventions sur les établissements recevant du public. Qui effectue des visites de contrôle à la construction, à l'ouverture et au cours de l'exploitation de l'ERP. Elle relève tous les manquements à la réglementation.

La commission contrôle tous les 3 ou 5 ans les ERP pour but de :

- Vérifier la conformité aux règles de sécurité et notamment le bon fonctionnement de tous les appareils de secours contre l'incendie et des appareils d'éclairage de sécurité
- Vérifier l'application des dispositions permettant l'évacuation des personnes en situation de handicap
- S'assurer que les vérifications des installations et des équipements par des organismes et des personnes agréés ont été faites
- Suggérer les améliorations ou modifications à apporter dans le cadre de la réglementation
- Étudier d'éventuelles mesures d'adaptation

A savoir :

- Ces vérifications interviennent pendant la construction et régulièrement en cours d'exploitation.
- Les services de police et de gendarmerie peuvent, pendant les heures d'ouverture, vérifier la régularité de la situation administrative des établissements recevant du public et relever les infractions aux règles de sécurité

### 1.2.4 Les obligations dans une ERP [7]

Le Règlement distingue les dispositions générales applicables à tous les établissements et les dispositions particulières propres à chaque type. Selon la loi 19-02 du 17 juillet 2019 Ces dispositions générales qui vont être développées ici sont donc applicables à tous les ERP du premier groupe et pour certaines, aux ERP du deuxième groupe. Les dispositions particulières

propres à chaque type reprennent d'une manière globale les dispositions générales soit sans les modifier, soit en atténuation ou en dérogation, soit enfin en aggravation. [9] [10]

Ces principes sont les suivants :

D'une part

- Les bâtiments et les locaux où sont installés les établissements recevant du public doivent être construits de manière à permettre l'évacuation rapide et en bon ordre de la totalité des occupants ;
- Ils doivent avoir une ou plusieurs façades en bordure de voies ou d'espaces libres permettant l'évacuation du public, l'accès et la mise en service des moyens de secours et de lutte contre l'incendie.
- Les matériaux et les éléments de construction employés tant pour les bâtiments et locaux que pour les aménagements intérieurs doivent présenter, en ce qui concerne leur comportement au feu, des qualités de réaction et de résistance appropriées aux risques courus. La qualité de ces matériaux et éléments fait l'objet d'essais et de vérifications en rapport avec l'utilisation à laquelle ces matériaux et éléments sont destinés. Les constructeurs, propriétaires, installateurs et exploitants sont tenus de s'assurer que ces essais et vérifications ont eu lieu ;
- L'aménagement des locaux, la distribution des différentes pièces et éventuellement leur isolement doivent assurer une protection suffisante, compte tenu des risques courus, aussi bien des personnes fréquentant l'établissement que de celles qui occupent des locaux voisins ;
- Les sorties et les dégagements intérieurs qui y conduisent doivent être aménagés et répartis de telle façon qu'ils permettent l'évacuation rapide et sûre des personnes. Leur nombre et leur largeur doivent être proportionnés au nombre de personnes appelées à les utiliser ;
- Tout établissement doit disposer de deux sorties au moins ; l'éclairage de l'établissement lorsqu'il est nécessaire doit être électrique. Un éclairage de sécurité doit être prévu dans tous les cas ;
- Le stockage, la distribution et l'emploi de produits explosifs ou toxiques, de tous liquides particulièrement inflammables et de liquides inflammables classés en 1re catégorie selon le code de l'environnement sont interdits dans les locaux et dégagements accessibles au public, sauf dispositions contraires précisées dans le Règlement de sécurité ;

- Les ascenseurs, ascenseurs de charge et monte-charge, les installations. D'électricité, de gaz, de chauffage et de ventilation, ainsi que les équipements techniques particuliers à certains types d'établissements doivent présenter des garanties de sécurité et de bon fonctionnement ;
- L'établissement doit être doté de dispositifs d'alarme et d'avertissement, d'un service de surveillance et de moyens de secours contre l'incendie appropriés aux risques.
- Par ailleurs, des plans doivent indiquer les largeurs de tous les passages affectés à la circulation du public, tels que dégagements, escaliers, sorties. Ils doivent comporter des renseignements sommaires ou des tracés schématiques concernant :
- Les organes généraux de production et de distribution d'électricité haute et basse tension ;
- L'emplacement des compteurs de gaz et le cheminement des canalisations générales d'alimentation ;
- L'emplacement des chaufferies, leurs dimensions, leurs caractéristiques principales compte tenu de l'encombrement des chaudières ; l'emplacement des conduits d'évacuation des produits de combustion, d'amenée de l'air frais, d'évacuation des gaz viciés ; l'emplacement et les dimensions des locaux destinés au stockage du combustible, le cheminement de ce combustible depuis la voie publique ;
- Les moyens particuliers de défense et de secours contre l'incendie.

D'autre part :

- L'éclairage doit être électrique.
- Le stockage, la distribution et l'emploi de produits explosifs ou toxiques et de tous liquides inflammables sont interdits dans les locaux accessibles au public ;
- Les ascenseurs / monte-charge, les installations électriques, de gaz, de chauffage et de ventilation, doivent présenter des garanties de sécurité et de bon fonctionnement ;
- Tout établissement recevant du public doit posséder un dispositif d'alarme, de surveillance et des équipements de secours ;
- Les établissements recevant du public ont l'obligation d'être accessibles aux PMR.
- L'entretien et la maintenance des installations corrects.

Pour chaque création d'un établissement recevant du public. Le propriétaire doit effectuer une demande d'autorisation de travaux en prenant en compte l'accessibilité des P.M.R et la sécurité du bâtiment.

### **1.2.5 Dispositifs de protection et prévention des risques d'incendie et de panique [4] [9]**

En complément aux dispositions générales des établissements recevant du public (ERP), des règles particulières en fonction de l'effectif admis doivent être appliquées dans les établissements de type R

Ces règles concernent principalement.

- la conception des établissements.
- les services de sécurité et les systèmes d'alarme.
- les installations électriques et de chauffage.
- le désenfumage.

#### **1.2.5.1 Dispositions concernant la construction et aménagement [9]**

##### **1.2.5.1.1 Les Dégagements**

On appelle dégagement toute partie de la construction permettant le cheminement d'évacuation des occupants : porte, sortie, issue, circulation horizontale, zone de circulation, escalier, couloir, rampe, etc.

Les dégagements sont réalisés de façon à :

- Permettre une évacuation sûre et rapide de l'établissement en faisant correspondre une circulation principale, à une sortie donnant sur l'extérieur ou un dégagement protégé.
- Relier, par des circulations horizontales de 2 unités de passage :
  - Au rez-de-chaussée, les escaliers aux sorties et les sorties entre-elles
  - Dans les étages et les sous-sols, les escaliers entre eux.
- Limiter à 10 mètres maximum le débouché des culs-de-sac entre les portes des locaux et les dégagements.

##### **1.2.5.1.1.1 Les unités de passage**

Chaque dégagement doit avoir une largeur minimale de passage proportionnelle au nombre total de personnes appelées à l'emprunter.

Cette largeur est calculée en fonction d'une largeur type appelée « unité de passage » (UP) de 0,60 mètres. Toutefois, quand un dégagement ne comporte qu'une ou deux unités de passage, la largeur est respectivement portée de 0,60 m à 0,90 m et de 1,20 m à 1,40 m



Aucune saillie, ni dépôt ne doit réduire la largeur réglementaire des dégagements.

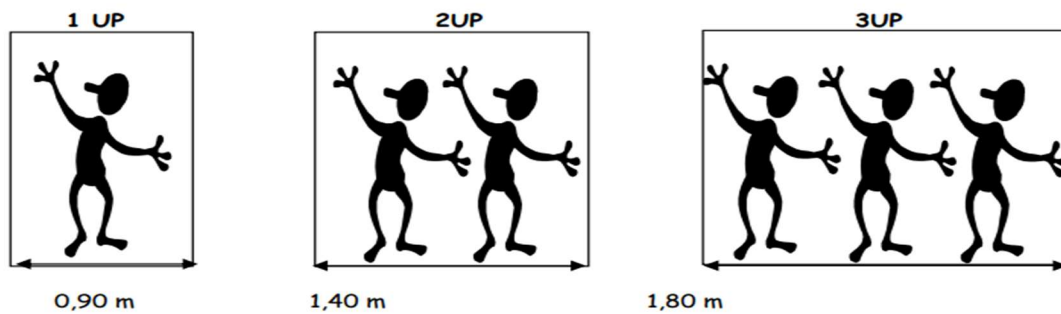


Figure 1.1 : Les unités de passage

#### 1.2.5.1.1.2 Balisage

Les cheminements empruntés par le public pour l'évacuation de l'établissement sont balisés par des indications bien lisibles, de jour et de nuit. Ces indications sont placées de façon telle que, de tout point accessible au public, celui-ci en aperçoive au moins une, même en cas d'affluence. Ce balisage est généralement réalisé par des signaux (panneaux, blocs autonomes, pancartes, etc.) blancs sur fond vert.

#### 1.2.5.1.1.3 Les Sorties et les escaliers

Les sorties réglementaires de l'établissement, des niveaux, des secteurs, des compartiments et des locaux doivent être judicieusement répartis, dans le but d'assurer l'évacuation rapide des occupants et d'éviter que plusieurs soient soumises en même temps aux effets du sinistre.

La distance maximum que le public doit parcourir, en rez-de-chaussée à partir d'un point quelconque d'un local pour atteindre une sortie donnant sur l'extérieur, ou un dégagement protégé menant à l'extérieur ne peut excéder :

- 50 mètres, si le choix existe entre plusieurs sorties.
- 30 mètres dans le cas contraire.

#### 1.2.5.1.1.4 Les escaliers

Les escaliers réglementaires doivent être judicieusement répartis de manière à en desservir toutes les parties de l'établissement et à diriger rapidement les occupants vers les sorties sur l'extérieur.

Ils peuvent être : Encloisonnés ou A l'air libre

- La distance maximum que le public doit parcourir, en étage ou en sous-sol, ne peut excéder :
  - 40 mètres pour gagner un escalier protégé ou une circulation horizontale protégée (ou 30 mètres pour gagner un de ces dégagements si on se trouve dans une partie de l'établissement formant cul-de-sac) ;
  - 30 mètres pour gagner un escalier non protégé.
  - 10 mètres pour arriver au débouché d'un cul de sac
- Le débouché, au niveau du rez-de-chaussée, d'un escalier encloué, s'effectue :
  - Soit directement sur l'extérieur ;
  - Soit à proximité d'une sortie ou d'un dégagement protégé donnant sur l'extérieur dans ce cas la distance depuis le débouché doit être inférieure à 20 mètres.
- Les escaliers desservant les étages sont continus jusqu'au niveau permettant l'évacuation sur l'extérieur.

#### **1.2.5.1.1.5 Les portes**

Ils doivent reprendre aux normes et exigences suivants :

- Les portes desservant les établissements, compartiments, secteurs ou locaux pouvant recevoir plus de 50 personnes, ainsi que les portes des sorties de secours, doivent s'ouvrir dans le sens de la sortie. Il en est de même pour les portes des escaliers.
- En présence du public, toutes les portes doivent pouvoir s'ouvrir de l'intérieur par simple poussée ou par la manœuvre facile du dispositif d'ouverture. Si ce dispositif est une barre antipanique, celle-ci doit être conforme aux normes.
- A l'exception de celles pouvant se développer contre la paroi, toutes les portes sont disposées de manière à ne former aucune saillie dans le dégagement.
- Les portes de recoupement des circulations horizontales utilisées dans les deux sens pour gagner une sortie vers l'extérieur, s'ouvrent obligatoirement en va-et-vient. Elles doivent comporter une partie vitrée à hauteur de vue.

- Les portes des locaux en cul-de-sac sont signalées par une inscription « sans issue » non lumineuse et pour laquelle la couleur verte est interdite.

#### **1.2.5.1.1.6 Les portes coupe-feu à fermeture automatique**

Les portes résistantes au feu et qui pour des raisons d'exploitation sont maintenues ouvertes, sont à fermeture automatique et répondent aux dispositions suivantes :

- Comporter sur la face apparente, en position d'ouverture, une plaque signalétique bien visible, portant en lettres blanches sur fond rouge ou vice-versa, la mention « Porte coupe-feu ne mettez pas d'obstacle à la fermeture »
- Être équipées d'un ferme - porte conforme aux normes ou être maintenues ouvertes par un dispositif qui provoque leur fermeture en cas de sinistre.
- La fermeture de chaque porte est commandée manuellement et :
  - Soit par un asservissement à une installation fixe de détection automatique, si elle existe.
  - Soit par un détecteur autonome -déclencheur sensible aux fumées et gaz de combustion.
  - Soit par asservissement à un système d'alarme.

#### **1.2.5.1.2 Les aménagements intérieurs**

Pour le but d'imposer une certaine réaction minimale au feu aux revêtements, de la décoration et du mobilier pour éviter le développement rapide du sinistre afin d'optimiser l'évacuation du public.

##### **1.2.5.1.2.1 Désenfumage**

Le désenfumage des locaux et des dégagements doit être prévu en raison de l'utilisation croissante de matériaux très fumigènes et toxiques.

Il permet :

- D'évacuer des personnes sans panique et en sécurité
- De faciliter la découverte du feu et l'intervention des secours
- D'évacuer vers l'extérieur des produits de combustion, pour éviter la propagation de l'incendie.

Les fumées constituent le facteur prépondérant d'incitation à la panique qu'extrêmement communicative, est elle-même responsable de nombreuses victimes.

Les gaz inflammables peuvent propager l'incendie en des lieux souvent éloignés du sinistre, par inflammation spontanée au contact de l'air au débouché d'une gaine ou d'une baie.

Que doit-on désenfumer ?

- Les escaliers
- Les circulations
- Les locaux

Mode de désenfumage

- Balayage = air neuf + évacuation des fumées
- Par variation de pression entre le volume à protéger et le volume sinistré.

Type de désenfumage

- Naturel : Il utilise les différences de pression entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment pour évacuer la fumée. Ce système est souvent utilisé dans les bâtiments de faible hauteur.

Amenée d'air + évacuation de fumée

- Mécanique : a l'aide des ventilateurs pour extraire la fumée et les gaz de combustion à travers des ouvertures dans le toit ou les murs.
- Mixte : Il combine le désenfumage naturel et mécanique pour offrir une solution plus efficace.

Le désenfumage des circulations encloisonnées :

Il est réalisé soit par :

- La mise en surpression par rapport aux locaux
- Le désenfumage par balayage naturel
- Le désenfumage par balayage mécanique.

Le désenfumage des locaux

Les locaux de plus de 300 m<sup>2</sup> et les locaux aveugles ou en sous-sol de plus de 100 m<sup>2</sup> par désenfumage naturel ou mécanique

### 1.2.5.1.2.2 Éclairage de sécurité

Pendant les heures d'ouverture des établissements, les locaux accessibles au public et leurs dégagements doivent être suffisamment éclairés pour faciliter l'évacuation.

Dans les locaux où la lumière naturelle peut être insuffisante pendant la présence de public, un éclairage artificiel doit être prévu.

3 installations d'éclairage existent :

- Éclairage normal (exploitation courante)
- Éclairage de sécurité (évacuation – ambiance ou antipanique)
- Éventuellement éclairage de remplacement (poursuite de l'exploitation)

Eclairage d'évacuation : Il permet à toute personne d'accéder à l'extérieur à l'aide de foyers lumineux assurant notamment la reconnaissance des obstacles et l'indication des changements de direction.

Il est obligatoire dans les locaux pouvant recevoir plus de 50 personnes et dans les couloirs, les foyers lumineux ne doivent pas être distants de plus de 15 mètres.

Eclairage d'ambiance : Il est obligatoire lorsque l'effectif du public peut atteindre par local :

- 100 personnes en étage et au rez-de-chaussée
- 50 personnes en sous-sol

Selon le type et la catégorie de l'E. R. P, l'éclairage de sécurité aura des caractéristiques différentes.

Les foyers lumineux : Ils doivent être hors de portée du public (hauteur >2,25 m)

S'il est mis en place des blocs autonomes d'éclairage de sécurité (BAES), ils doivent avoir un flux lumineux nominal de 60 lumens.

Les types d'éclairage d'évacuation : Il existe désormais 2 types d'éclairage de sécurité :

Eclairage de sécurité sur source centrale

La source centrale : des batteries d'accumulateurs

Elle doit alimenter :

- L'éclairage de sécurité pendant 1 heure au moins

- Tout ou partie de l'éclairage de sécurité des locaux inaccessibles au public...
- Pendant la durée d'utilisation prévisible :
  - Le système d'alarme et d'alerte
  - L'installation de détection automatique d'incendie (DAI)
  - Les télécommunications et signalisations de sécurité

Eclairage de sécurité par BAES

Il doit être alimenté par des canalisations fixes et il doit y avoir au moins 2 BAES par local pour l'éclairage d'ambiance et toute circulation de plus de 15m

#### **1.2.5.1.2.3 Chauffage, ventilation, réfrigération, conditionnement d'air et production de vapeur et d'eau chaude sanitaire**

Les dispositions ont pour objectif d'éviter les risques d'éclosion, de développement et de propagation de l'incendie ainsi que les risques d'explosion.

En général, les exigences pour les ERP comprennent les éléments suivants :

- Chauffage : les ERP doivent être chauffés pour assurer le confort des occupants. Les exigences en matière de chauffage varient en fonction de la zone climatique où se trouve l'établissement, de sa taille et de sa catégorie.
- Ventilation : l'air doit être renouvelé régulièrement dans les ERP pour évacuer les polluants (CO<sub>2</sub>, odeurs, etc.) et assurer un air sain pour les occupants. Les exigences de ventilation varient selon le type d'établissement et de la catégorie.
- Réfrigération : les ERP qui ont besoin de maintenir des températures basses (comme les supermarchés ou les centres de données) doivent être équipés d'un système de réfrigération.
- Conditionnement d'air : certains ERP ont besoin d'un système de climatisation pour maintenir une température confortable pour les occupants.
- Production d'eau chaude sanitaire : certains ERP ont besoin de produire de l'eau chaude pour les besoins sanitaires (douches, lavabos, etc.).

#### **1.2.5.1.2.4 Installations électriques**

Les exigences en matière d'installations électriques pour les ERP sont plus strictes que pour les bâtiments résidentiels ou commerciaux, en raison de la sécurité des occupants et des biens.

Les installations électriques doivent être :

- Conçues et réalisées de manière à garantir la sécurité des occupants et des biens, ainsi que leur bon fonctionnement.
- Être installées par des professionnels qualifiés et certifiés, en conformité avec les normes et réglementations en vigueur.
- Régulièrement entretenues et vérifiées par des professionnels qualifiés, afin de garantir leur sécurité et leur bon fonctionnement.
- Équipées de dispositifs de protection contre les surtensions, les courts-circuits, les surcharges et les perturbations électromagnétiques.
- Dotées de dispositifs de coupure d'urgence accessibles et clairement identifiés, permettant d'arrêter rapidement l'alimentation électrique en cas de danger.
- Équipées d'un système de mise à la terre efficace, permettant de prévenir les risques d'électrocution.
- Adaptées aux besoins spécifiques de l'ERP, en tenant compte notamment de la puissance électrique nécessaire pour alimenter les équipements et appareils présents dans l'établissement.

#### **1.2.5.1.2.5 Ascenseurs, escaliers mécaniques et trottoirs roulants**

Les ascenseurs, escaliers mécaniques et trottoirs roulants sont des équipements de sécurité importants pour les établissements recevant du public (ERP). Car ils permettent de faciliter l'accessibilité et le déplacement des personnes à mobilité réduite, des personnes âgées ou des personnes accompagnées d'enfants en bas âge. Ils sont réglementés par des textes législatifs et réglementaires qui définissent les exigences en matière de conception, d'installation, d'utilisation et d'entretien de ces équipements.

Cependant, il est possible de lister certaines exigences communes à la plupart des ERP :

Les ascenseurs, escaliers mécaniques et trottoirs roulants doivent être :

- Conçus et installés en conformité avec les normes et réglementations en vigueur, notamment en matière de sécurité, de résistance, de fiabilité et de confort.

- Équipés de dispositifs de sécurité tels que des limites de vitesse, des systèmes de freinage d'urgence, des portes de cabine sécurisées, des dispositifs de verrouillage des portes palières, etc.
- Équipés de dispositifs de sécurité tels que des capteurs de présence, des arrêts d'urgence, des mains courantes, etc.
- Régulièrement entretenus et vérifiés par des professionnels qualifiés, afin de garantir leur sécurité et leur bon fonctionnement.
- Accessibles aux personnes à mobilité réduite, conformément aux normes et réglementations en vigueur.
- Équipés de dispositifs d'alerte en cas de panne ou de dysfonctionnement, afin de prévenir les accidents et d'assurer la sécurité des occupants.
- Dotés d'une signalétique claire et visible, permettant aux occupants de s'orienter facilement.

#### **1.2.5.2 Dispositions concernant les moyens de secours contre l'incendie**

Ce sont tous les moyens à mettre en œuvre dès lors qu'un feu s'est déclaré.

Un établissement doit comporter :

##### **1.2.5.2.1 Des moyens de détection et d'alarme**

La détection précoce du feu (surveillance humaine ou automatique) permettra de donner alarme, de déclencher une évacuation rapide et d'alerter les services de secours. La détection automatique est imposée dans certains locaux notamment ceux réservés au sommeil.

##### **1.2.5.2.2 Moyens d'extinction nécessaires**

- Les extincteurs portatifs
- Bouches et poteaux d'incendie
- Canalisations protégées du gel.
- Robinets d'incendie armés.
- Colonnes sèches : hauteur du plancher bas du dernier niveau  $> 18$  m alors l'hydrant doit être à moins de 60 m du raccord d'alimentation.
- Colonnes en charge : hauteur du plancher bas du dernier niveau  $> 50$  m débit  $> 60$  m<sup>3</sup> /h minimum et  $4,5 < P < 8,5$  bars. 2 orifices de réalimentation à moins de 60 m d'un hydrant.
- Installation d'extinction automatique
- Déversoirs ponctuels : 2 vannes de commande ( $P > 0,5$  bars  $Q > 250$  l/mn) ou diffuseurs avec  $Q > 5$  l/mn/m<sup>2</sup> ;



- Eléments de construction irrigués (rideaux d'eau) ;
- Appareils mobiles (seaux - pompes, extincteurs) ;
- Moyens divers : couvertures, toiles, seaux, sable...

#### **1.2.5.2.3 Disposition visant à faciliter l'action de la Protection Civile**

- Plan de l'établissement
- Plan d'évacuation et de mise en sécurité
- Balcons, passerelles, échelles.
- Tours d'incendie
- Trémies d'attaque (diamètre 0,60 m espacées tous les 20 m)

### **1.3 Conclusion**

Le classement des ERP et la réglementation qui leur est applicable jouent un rôle essentiel dans la garantie de la sécurité des établissements recevant du public. En fixant des normes strictes et spécifiques visant à prévenir les incendies et à garantir la sécurité des occupants. Ces réglementations peuvent varier en fonction du type d'ERP, de sa capacité d'accueil, de sa classification et de ses activités spécifiques. Les réglementations incluent des exigences en matière d'aménagement des locaux, de résistance au feu des structures, de systèmes de détection et d'alarme incendie, de moyens d'extinction, de ventilation, d'éclairage de secours, d'itinéraires d'évacuation, de formation du personnel, etc. Ces réglementations sont établies par les autorités compétentes et doivent être respectées pour assurer la sécurité incendie dans les ERP.

Ces mesures contribuent à prévenir les risques et à assurer la protection du public. La surveillance continue et les contrôles réguliers permettent de s'assurer que les ERP respectent les normes de sécurité, offrant ainsi un environnement sûr et serein pour tous les usagers.

## **2 Chapitre 02 : les incendies dans les établissements recevant du public de type R et les causes possibles conduisant à un incendie dans un laboratoire universitaire**

Les incendies dans les établissements recevant du public (ERP) représentent une menace majeure pour la sécurité des personnes. En raison de la fréquentation élevée et des activités variées qui s'y déroulent, les ERP sont susceptibles de présenter des risques spécifiques en cas d'incendie. Il est donc essentiel de prendre des mesures préventives et de mettre en place des dispositifs de sécurité efficaces pour minimiser les conséquences d'un incendie.

Les risques d'incendie dans les ERP sont divers et peuvent résulter de différentes sources qui peuvent causer des blessures graves, voire des pertes de vies humaines, ainsi que des dégâts matériels considérables. Les ERP accueillent un large éventail de publics, tels que des commerces, des restaurants, des hôtels, des écoles, des hôpitaux, des salles de spectacle, etc. Chacun de ces établissements présente des risques spécifiques liés à leurs activités, à la configuration des lieux et à la densité de fréquentation.

### **2.1 Incendie dans les établissements recevant du public (ERP)**

Le risque incendie dans les établissements recevant du public (ERP) ou les établissements recevant des travailleurs (ERT) est un des risques courant auxquels tout le monde est confronté, susceptible, en cas de sinistre, de donner lieu très rapidement à des conséquences dramatiques sur les personnes qui les fréquentent. [13]

En effet, des sinistres meurtriers viennent encore trop souvent nous rappeler que la prévention de l'incendie et de la panique dans les établissements doit toujours être améliorée.

La prévention incendie a pour objectif de limiter les risques de naissance d'un feu, le cas échéant de limiter la propagation de l'incendie, de faciliter l'évacuation du public et l'intervention des services de secours. Pour atteindre ces objectifs, la prévention met notamment en œuvre des moyens constructifs (stabilité au feu et résistance au feu des bâtiments, issues de secours en nombre suffisant...), des moyens techniques (alarme, détection incendie, moyens de secours...), des moyens organisationnels (consignes et procédures, formation du personnel...)

Cependant, toutes ces dispositions ne sont efficaces que si chacun d'entre nous en a connaissance. [14] [15]

### 2.1.1 Généralités sur l'incendie

C'est une combustion violente et non maîtrisée d'un matériau inflammable qui produit de la chaleur, de la lumière et de la fumée. Il se produit lorsque trois éléments essentiels sont présents simultanément : un combustible, une source de chaleur et un agent oxydant (généralement de l'oxygène). [16]

Lorsqu'un incendie se déclare, il peut se propager rapidement et causer des dégâts importants aux biens et aux personnes. Les incendies peuvent se produire dans diverses situations, notamment dans les bâtiments, les véhicules, les usines et les espaces extérieurs.

Les incendies peuvent être classés en fonction de leur origine, de leur intensité, de leur durée et de leur propagation. Les incendies peuvent être contrôlés et éteints en utilisant des moyens appropriés tels que des extincteurs, des systèmes d'extinction automatique, des lances à incendie et des tuyaux d'arrosage. Il est important de prendre des mesures de prévention pour minimiser les risques d'incendie, telles que l'installation de détecteurs de fumée, la maintenance régulière des équipements électriques, la surveillance des sources de chaleur et l'élimination des matériaux inflammables. [17]

Pour créer le phénomène de feu, 3 éléments doivent être réunis

**Un combustible** : c'est le matériau qui va fournir la matière première en alimentant la combustion. Il peut être : solide (bois, papier, tissus ...), liquide (hydrocarbures...), gazeux (gaz naturel, propane...)

- **Un comburant** : c'est en général l'oxygène présent dans l'air ambiant.
- **Une énergie d'activation** : c'est la source de chaleur qui fait démarrer la combustion : flammes, Electricité, étincelles, chaleur, combustions spontanées, échauffements, frottements mécaniques...

**COMBUSTIBLE + COMBURANT + ÉNERGIE D'ACTIVATION = COMBUSTION**

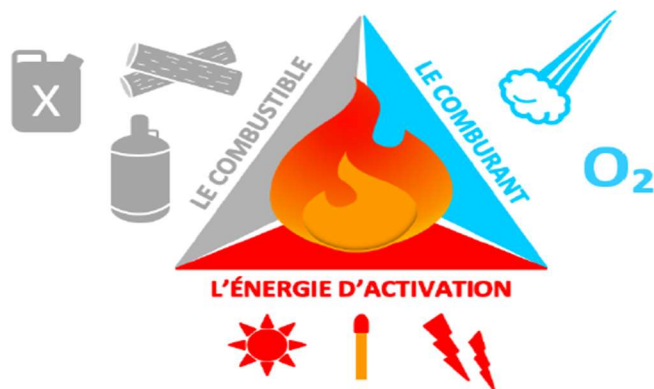


Figure 2.1 : Les éléments essentiels qui conduisent à un incendie « triangle du feu »

### 2.1.1.1 Naissance et développement d'un incendie [17] [18]

Un incendie passe par les phases successives suivantes :

#### 2.1.1.1.1 L'initiation

Présence de fumées, élévation lente de la température.

#### 2.1.1.1.2 La croissance

Au début de la combustion, durant cette phase le feu se développe en générant de la fumée qui se propage horizontalement dans la partie haute du local en se dirigeant vers les ouvertures. Si la quantité d'oxygène est suffisante, le feu continue à se développer soit par propagation de flammes ou par l'allumage d'autres matériaux présents dans le compartiment.

C'est au cours de cette phase que l'incendie peut cesser de lui-même s'il manque d'air ou de ventilation ou, bien au contraire, se généraliser à cause de phénomènes thermiques tels que l'explosion des fumées ou l'embrasement généralisée éclair.

Quand l'un de ces accidents thermiques survient en cours de croissance, on pourrait le considérer comme une phase intermédiaire et c'est cette phase qui est généralement la plus importante à étudier car le développement de l'incendie est alors inéluctable, et la sécurité des victimes et des sapeurs-pompiers est souvent liée à cette période.

#### 2.1.1.1.3 Le plein développement

A cette étape le dégagement d'énergie est à son maximum. Sur la courbe caractéristique on peut voir que les températures sont élevées mais restent stables en formant presque un plateau. En effet, les gaz imbrûlés se concentrent au niveau du plafond et peuvent dans certains cas brûler en continu en produisant des flammes souvent visibles par les ouvertures.

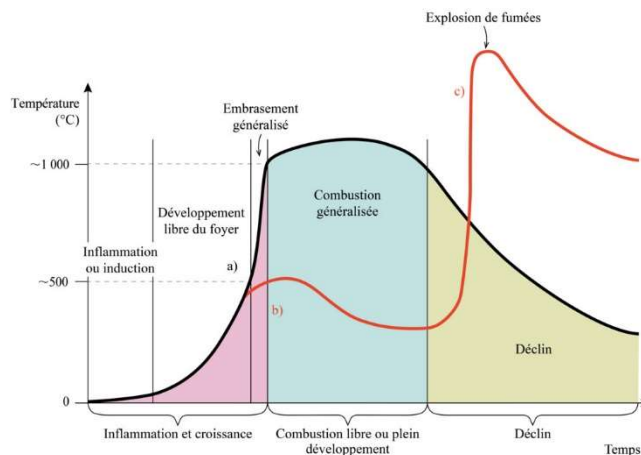


Figure 2.2 : Les étapes de développement d'un incendie

#### 2.1.1.1.4 La décroissance

Cette phase démarre dès que le combustible s'épuise ou lorsque la situation a été maîtrisée par l'intervention des sapeurs-pompiers. L'incendie régresse et les températures commencent à décroître. Il faut savoir que même pendant cette phase le danger est toujours présent, car tant qu'on est dans une zone de températures très hautes, environ au-dessus des 400°C, il est possible qu'un accident thermique survienne ou que de nouveaux foyers se créent par transfert thermique de quelque manière que ce soit.

#### 2.1.1.2 La propagation du feu [16]

Le FEU se propage suivant 4 modes

##### 2.1.1.2.1 Convection

Déplacement ascendant des gaz chauds et inflammables. La chaleur se transmet aux matériaux combustibles qu'elle rencontre. Ce déplacement crée également un appel d'air frais vers le foyer et contribue à son activation.

C'est le mode de propagation le plus important.

##### 2.1.1.2.2 Conduction Transmission de la chaleur dans la masse du matériau (canalisation, structure métallique...)

Par exemple : en chauffant un conduit métallique à son extrémité, on peut enflammer un carton qui toucherait ce conduit à son autre extrémité.

##### 2.1.1.2.3 Déplacement

Transfert de solides, de liquides ou de gaz en combustion.
 

- Solides : par projection de brandons, d'escarbilles...
- Liquides : par épandage, ruissellement...
- Gaz : la nappe de gaz peut se déplacer et s'enflammer à distance du foyer.

#### 2.1.1.2.4 Rayonnement

Énergie absorbée par un autre corps sous forme d'énergie thermique.

Par exemple : une lampe halogène peut mettre le feu aux rideaux d'une pièce (sans contact direct) si celle-ci est placée trop près.

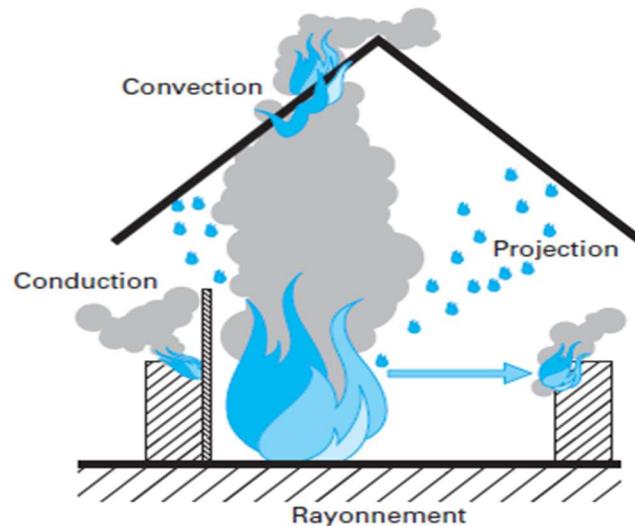


Figure 2.3 : Les modes de propagation du feu

### 2.1.2 Cas particulier d'incendie :

#### 2.1.2.1 Le « BACKDRAFT »

Le "back Draft" est un phénomène dangereux qui peut se produire dans un environnement où il y a un incendie. Il se produit lorsque l'apport d'oxygène est soudainement réintroduit dans un espace confiné contenant des gaz inflammables, des fumées et de la chaleur résiduelle. [18]

Le Backdraft se produit lorsque les conditions dans un espace confiné sont propices à une réaction explosive soudaine et violente. Voici les éléments clés qui contribuent à la formation d'un Backdraft :

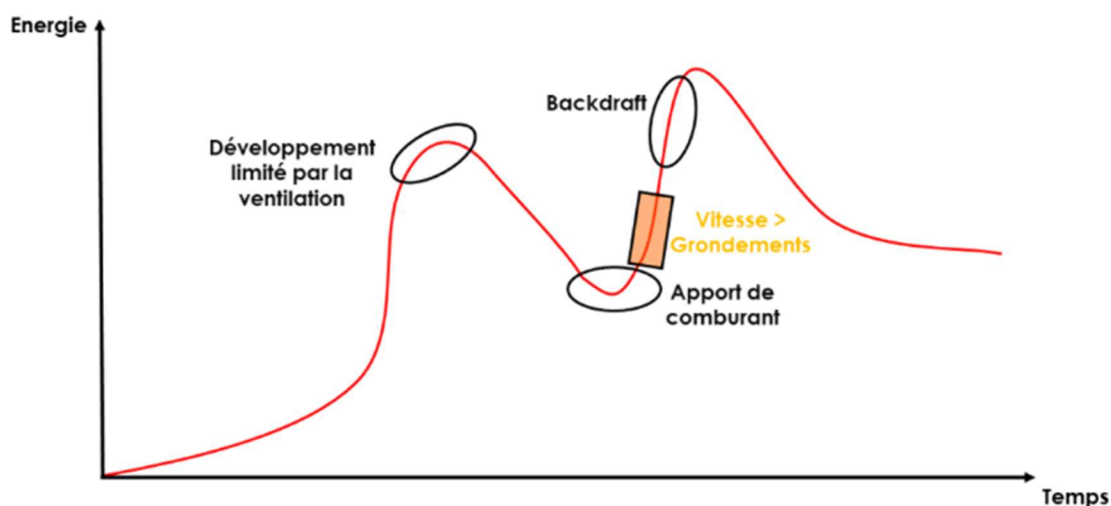
**Confinement de l'espace** : Le Backdraft se produit généralement dans des espaces où la ventilation est limitée, tels que des pièces fermées, des cages d'escalier ou des compartiments hermétiques. Ces espaces confinés empêchent l'entrée d'air frais et limitent l'apport en oxygène nécessaire à la combustion.

**Accumulation de gaz inflammables** : Lorsqu'un incendie brûle dans un espace confiné, il produit des gaz et des fumées inflammables. Ces gaz s'accumulent au fur et à mesure que

l'incendie consomme l'oxygène disponible. Une fois que la concentration de gaz inflammables atteint une limite explosive, les conditions sont réunies pour un Backdraft potentiel.

**Introduction soudaine d'oxygène :** Lorsque l'apport d'air frais est soudainement réintroduit dans un espace confiné, par exemple, lorsque les pompiers ouvrent une porte ou une fenêtre, cela peut créer une situation dangereuse. L'oxygène nouvellement introduit réagit rapidement avec les gaz inflammables accumulés, provoquant une déflagration violente.

Les signes avant-coureurs d'un backdraft incluent une fumée dense, de couleur foncée et épaisse, des pulsations ou des battements visibles dans la fumée, ainsi qu'une chaleur intense. Ces indicateurs suggèrent que des gaz inflammables sont présents et qu'un backdraft potentiel pourrait se produire.



**Figure 2.4 :** Backdraft

### 2.1.2.2 Le « FLASHOVER »

Le flashover est un autre phénomène dangereux qui peut se produire lors d'un incendie et qui présente un risque élevé pour les personnes présentes. Il se produit lorsque les températures dans un espace confiné atteignent un seuil critique, entraînant une combustion généralisée et soudaine de tous les matériaux inflammables présents. [17]

Voici comment le flashover se produit généralement :

**Incendie initial :** Un incendie se déclare dans un espace confiné, tel qu'une pièce ou une structure. Au début, l'incendie est limité à un objet ou à une zone spécifique.

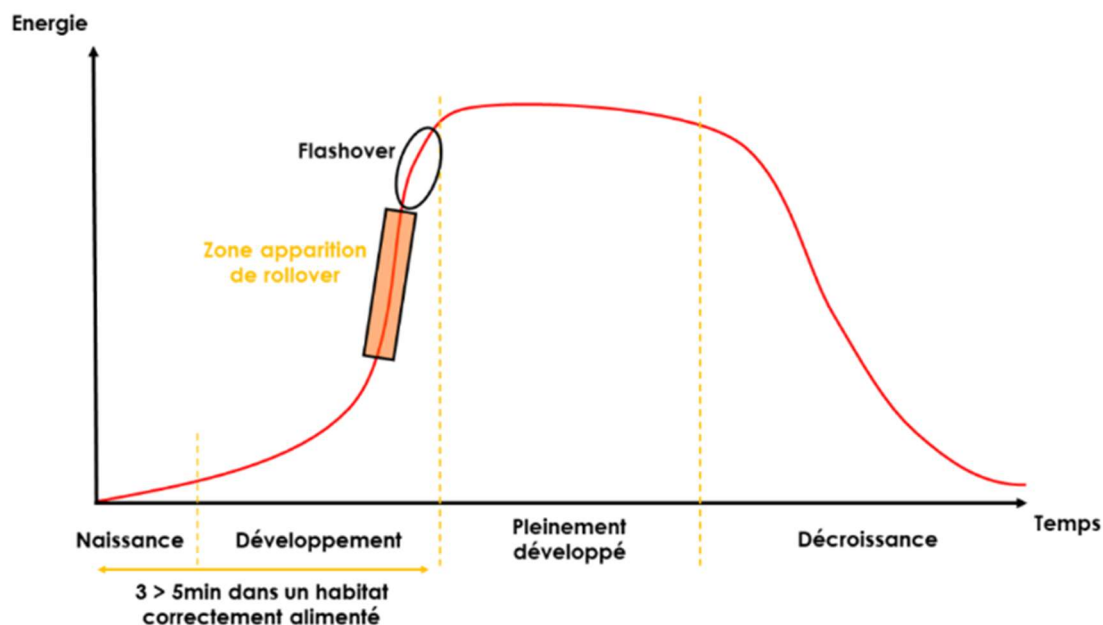
**Accumulation de chaleur** : L'incendie produit de la chaleur, qui est transférée aux objets et aux surfaces environnants. Les températures dans la pièce commencent à augmenter progressivement.

**Point de non-retour** : À un moment donné, la chaleur accumulée atteint un seuil critique appelé "point de non-retour". À ce stade, les matériaux combustibles dans la pièce atteignent leur température d'allumage presque simultanément.

**Combustion généralisée** : Une fois que le flashover se produit, tous les matériaux combustibles dans la pièce s'embrasent presque instantanément. La combustion devient généralisée et la température atteint des niveaux extrêmement élevés.

Le flashover est caractérisé par un embrasement généralisé et rapide de la pièce, avec une propagation rapide du feu et un dégagement intense de chaleur et de fumée. Les pompiers et toute personne présente dans la zone sont confrontés à un danger immédiat en raison de l'augmentation soudaine de la température et de la probabilité de propagation rapide du feu.

Le flashover est extrêmement dangereux et nécessite une action rapide et appropriée pour



assurer la sécurité des pompiers et des personnes impliquées dans la situation d'incendie.

**Figure 2.5** : Flashover



## **2.2 Les Accidents dans les établissements d'enseignement (Type : R)**

Les accidents dans les établissements d'enseignement peuvent inclure une variété d'incidents qui se produisent sur les campus, tels que des blessures, des maladies, des dommages matériels, etc. Ces incidents peuvent impliquer des élèves, des enseignants, du personnel administratif, des visiteurs et d'autres personnes liées à l'établissement.

Les accidents dans les établissements d'enseignement peuvent survenir pour diverses raisons. Les accidents les plus courants dans les établissements d'enseignement incluent les chutes, les brûlures, les blessures sportives, les accidents de voiture, les incendies, les explosions, les catastrophes naturelles, etc.

Les établissements d'enseignement ont la responsabilité de créer un environnement sûr pour tous les membres de leur communauté, et pour cela, ils doivent prendre des mesures préventives pour réduire les risques d'accidents. Cela peut inclure des formations en sécurité pour les étudiants et le personnel, des inspections régulières des installations, des équipements et des véhicules, des plans d'urgence en cas de catastrophe, des procédures pour signaler les incidents et les réparer rapidement, etc.

En cas d'accident, les établissements d'enseignement doivent fournir une assistance immédiate aux personnes blessées et doivent informer les autorités compétentes et les parties concernées. La gestion des accidents dans les établissements d'enseignement est donc une préoccupation importante pour garantir la sécurité de tous les membres de la communauté éducative. [19]

### **2.2.1 Les causes possibles conduisant à un incendie dans un établissement recevant du public (Exemple d'un laboratoire de chimie universitaire)**

Les causes et les sources d'incendie peuvent être multiples et dépendent du contexte dans lequel il se produit. Ces causes peuvent se combiner entre elles ou avec d'autres facteurs pour créer des situations à risque. Il est donc important d'analyser les circonstances et les conséquences d'un incident ou d'un accident pour en identifier les causes et les sources et mettre en place des mesures préventives ou correctives.

### **2.2.2 Retour d'expérience [20]**

Un accident dans un laboratoire universitaire peut avoir des conséquences graves pour les personnes et l'environnement, en fonction de la nature et de la quantité des produits chimiques ou biologiques et les installations manipulés et Voici quelques exemples d'accidents dans des laboratoires universitaires :

**Le 16 janvier 2009**, une étudiante en chimie de l'université de Californie à Los Angeles (UCLA) meurt des suites de brûlures causées par un incendie dans un laboratoire. L'incendie est dû à une réaction violente entre du **tert-butyl lithium**, un produit très inflammable, et l'humidité de l'air. L'étudiante ne portait pas de vêtements de protection adaptés et n'a pas pu utiliser la douche de sécurité à temps.

**Le 17 septembre 2011**, un étudiant en biologie de l'université de Chicago contracte une infection mortelle par la bactérie **Neisseria meningitidis**, un agent pathogène de classe 2. L'étudiant travaillait dans un laboratoire où il manipulait des souches atténuées de la bactérie, mais il aurait été exposé accidentellement à une souche sauvage. Il meurt deux jours après avoir présenté les premiers symptômes.

**Le 5 décembre 2006**, une explosion se produit dans un laboratoire de chimie organique de l'université d'Oran, en Algérie. L'explosion est due à la manipulation d'un produit instable, le tétrazol-5-yl-acétate d'éthyle. L'explosion blesse sept personnes, dont deux grièvement, et endommage le laboratoire et le matériel.

### 2.2.3 Les causes les plus courants [21] [22]

#### 2.2.3.1 Les causes techniques

**Réaction chimique spontanée** : certaines substances peuvent réagir de manière spontanée si elles sont mélangées ou exposées à des conditions environnementales spécifiques, telles que la chaleur ou l'humidité. Ces réactions peuvent générer suffisamment de chaleur pour allumer les matériaux environnants et provoquer un incendie.

Les causes technologiques peuvent avoir différentes origines, telles que :

##### 2.2.3.1.1 Sources Chimiques

Les causes chimiques qui peuvent conduire à un incendie dans un établissement recevant du public sont multiples tels que :

**Réaction chimique spontanée** : certaines substances peuvent réagir de manière spontanée si elles sont mélangées ou exposées à des conditions environnementales spécifiques, telles que la chaleur ou l'humidité. Ces réactions peuvent générer suffisamment de chaleur pour allumer les matériaux environnants et provoquer un incendie.

**Oxydation** : certains matériaux, tels que les huiles, les graisses ou les produits chimiques oxydants, peuvent réagir avec l'oxygène de l'air pour produire de la chaleur et des flammes.

Ces matériaux peuvent s'enflammer spontanément s'ils sont stockés incorrectement ou manipulés de manière incorrecte.

**Combustion spontanée** : certains matériaux, tels que les chiffons imbibés d'huile, peuvent s'enflammer spontanément s'ils sont stockés dans des conditions chaudes et humides.

**Explosions** : certaines réactions chimiques peuvent produire des gaz qui peuvent exploser s'ils sont confinés ou s'ils sont exposés à une flamme ou une source de chaleur. Les explosions peuvent causer des incendies ainsi que d'autres dommages.

Il est important de stocker les produits chimiques correctement et de les manipuler avec soin pour éviter les accidents et les incendies. Les matières inflammables et oxydantes doivent être stockées séparément, dans des zones bien ventilées et loin des sources de chaleur ou d'ignition. Les travailleurs doivent être formés pour manipuler et utiliser correctement les produits chimiques, et des équipements de protection individuelle, tels que des gants et des lunettes de protection, doivent être fournis.

#### 2.2.3.1.2 Source Électrique

Les causes électriques conduisant à un incendie dans un établissement recevant du public incluent :

**Surcharge électrique** : une surcharge électrique peut se produire lorsque trop d'appareils électriques sont branchés sur une prise électrique ou sur un circuit électrique, ce qui peut provoquer une surchauffe et un incendie.

**Court-circuit électrique** : un court-circuit se produit lorsqu'un fil électrique entre en contact avec un autre fil ou avec une surface conductrice, ce qui peut provoquer une étincelle, une surchauffe et un incendie.

**Mauvaise installation électrique** : une installation électrique mal conçue ou mal installée peut causer des problèmes électriques tels que des courts-circuits, des surcharges électriques et des arcs électriques, qui peuvent tous conduire à des incendies.

**Utilisation incorrecte des appareils et équipements électriques** : l'utilisation incorrecte des appareils électriques, tels que les rallonges électriques, les multiprises, les adaptateurs et sur toute la plaque chauffante peut provoquer des étincelles et des surchauffes qui peuvent conduire à un incendie.

**Défaut de maintenance électrique** : une maintenance électrique insuffisante peut causer des problèmes électriques tels que des courts-circuits, des surcharges électriques et des arcs électriques, qui peuvent tous conduire à des incendies.

Il est important de prendre des mesures de prévention pour minimiser les risques d'incendie causés par des problèmes électriques. Cela peut inclure la maintenance régulière des installations électriques, la mise en place de politiques et de procédures pour éviter les surcharges électriques et les courts-circuits, la formation des employés sur l'utilisation appropriée des appareils électriques, et l'utilisation d'équipements électriques conformes aux normes de sécurité.

### 2.2.3.1.3 Stockages inappropriés

**Stockage inadéquat des produits chimiques** : Les produits chimiques inflammables doivent être stockés dans des armoires spécialement conçues pour réduire le risque d'incendie. Le non-respect de ces directives peut entraîner des incendies, Si les produits chimiques ne sont pas correctement identifiés et étiquetés, cela peut entraîner un stockage inapproprié et augmenter le risque

Aussi, Il est très important de connaître la compatibilité des différents produits chimiques entre eux. Certains produits peuvent réagir de manière dangereuse s'ils sont stockés ensemble. La consultation des fiches de données de sécurité (FDS) pour identifier les incompatibilités et éviter de les mélanger donc c'est nécessaire.

**Diversement des produits chimiques** : Un risque potentiel pour la santé et la sécurité des personnes travaillant dans le laboratoire, Les sources de cette menace sont souvent liées à des erreurs humaines, au stockage ou à une manipulation imprudente des produits chimiques et qui présentent des risques potentiels associés à ce phénomène tels que les réactions chimiques indésirables, une contamination croisée, des risques d'incendie ou d'explosion et des effets toxiques sur la santé.

Le stockage des produits chimiques est un facteur majeur et important dans les incendies dans les laboratoires, mais il joue également un rôle intéressant dans certains dangers potentiels. A cause de la nature des substances inflammables et explosives trouvés dans la plupart des labos Voici quelques-uns des risques courants associés au stockage de produits chimiques dans un laboratoire :

**Risque d'explosion** : Certains produits chimiques volatils peuvent présenter un risque d'explosion s'ils sont stockés de manière incorrecte ou s'ils entrent en contact avec des substances oxydantes tels que les peroxydes ou l'oxygène de l'air. Les produits chimiques réactifs ou instables doivent être manipulés avec une attention particulière.

**Risque d'intoxication** : Plusieurs substances chimiques peuvent être toxiques s'ils sont inhalés, ingérés ou en contact avec la peau. Une mauvaise manipulation ou un stockage inadéquat peut entraîner une exposition aux produits chimiques et causer des problèmes de santé.

**Risque de réaction chimique dangereuse** : Le stockage inapproprié de produits chimiques peut conduire à des réactions chimiques indésirables ou dangereuses. Certains produits chimiques peuvent réagir violemment entre eux, provoquant des émanations toxiques, des dégagements de chaleur ou des explosions.

**Risque de corrosion** : Pas mal de produits chimiques corrosifs peuvent endommager les contenants de stockage s'ils ne sont pas stockés dans des matériaux appropriés. Cela peut entraîner des fuites, des ruptures ou des expositions accidentelles.

**Risque de mauvaise identification** : Un étiquetage inapproprié ou une mauvaise identification des produits chimiques peuvent entraîner une utilisation incorrecte, une manipulation inadéquate ou une confusion, augmentant ainsi les risques pour la sécurité.

#### 2.2.3.1.4 Problèmes de Ventilation

La ventilation des laboratoires est l'un des facteurs dont les opérateurs s'assurent toujours lors de la construction de laboratoires ou lorsqu'ils manipulent des produits chimiques, ce qui représente une grande partie de la protection contre plusieurs dangers. L'une des principales raisons de la défaillance du système de ventilation est l'obstruction des ouvertures et grilles de ventilation, qui contribue à une mauvaise circulation de l'air et à l'élimination des gaz pollués qui peuvent être endommagés par la poussière ou d'autres matériaux, aussi les hottes sont considérés comme des dispositifs de sécurité essentiels qui ne peuvent être abandonnés dans les laboratoires de chimie en raison de leur rôle dans l'aspiration, la capture et l'élimination des produits chimiques de manière très efficace, la mauvaise ventilation peuvent conduire dans certains cas à des résultats catastrophiques et à grande échelle sur la santé et les biens

### 2.2.3.2 Les causes humaines

Qui sont liées aux comportements ou aux actions des personnes impliquées dans l'incident ou l'accident, qui peuvent être liés à la négligence, à l'imprudence, à la distraction, à la fatigue, à l'alcoolémie, à la vitesse, au non-respect des règles de sécurité, etc.

Les causes humaines peuvent avoir différentes origines, telles que :

**Comportement négligent** : les comportements imprudents tels que le tabagisme dans les zones interdites, la négligence lors de la manipulation de matières inflammables, la cuisson imprudente ou l'utilisation de bougies non surveillées peuvent causer des incendies.

**Erreur humaine** : les erreurs humaines, telles que l'utilisation incorrecte des équipements de cuisine, l'utilisation incorrecte des produits chimiques, la manipulation incorrecte des installations électriques, ou l'oubli de prendre des mesures de sécurité, peuvent également provoquer des incendies.

**Malveillance** : les incendies peuvent être causés délibérément par des actes criminels tels que des incendies criminels ou des actes de vandalisme.

**Formation insuffisante** : une formation insuffisante en matière de sécurité et de prévention des incendies peut contribuer à des incendies. Les employés doivent être formés pour reconnaître les risques d'incendie et connaître les mesures à prendre pour éviter les incendies et les gérer en cas d'urgence.

**Négligence lors de l'utilisation des équipements et protocole de sécurité** : l'utilisation incorrecte des équipements de sécurité tels que les extincteurs, les systèmes d'alarme incendie et les détecteurs de fumée peut compromettre la sécurité et contribuer aux incendies.

## 2.2.4 Statistiques sur les incendies dans les laboratoires et ces causes les plus courants

### 2.2.4.1 Effets des incendies dans les laboratoires aux États-Unis

Selon les rapports de la National Fire Protection Association (NFPA) aux États-Unis, entre 2011 et 2015, les incendies dans les laboratoires représentaient environ 0,3 % de tous les incendies non résidentiels. En résumé le résultat tiré de ces rapports est :

- En moyenne, il y avait environ 160 incendies dans les laboratoires chaque année.
- Les incendies dans les laboratoires ont causé en moyenne 3 blessures civiles et 1 décès par an.

- Les incendies dans les laboratoires ont entraîné une perte économique annuelle estimée à 13 millions de dollars. [23]

#### **2.2.4.2 Statistiques sur les causes courantes d'incendies dans les laboratoires [24] [25]**

Il est difficile de fournir des statistiques plus précises sur les causes d'incendie dans les laboratoires, car les données non disponibles et non accessibles à tout le monde. Cependant, je peux vous donner les causes courantes d'incendie dans les laboratoires en me basant sur les informations disponibles :

##### **Équipement électrique défectueux (25 %) :**

- Courts-circuits : 40 %
- Surcharge électrique : 30 %
- Equipements endommagés ou mal entretenus : 20 %
- Autres problèmes électriques : 10 %

##### **Stockages inappropriés de produits chimiques (20 %) :**

- Stockage inapproprié des produits chimiques : 50 %
- Mélange accidentel de produits chimiques incompatibles : 30 %
- Fuites et déversements de produits chimiques : 20 %

##### **Sources d'ignition ouvertes (15 %) :**

- Flammes nues (brûleurs Bunsen, chalumeaux) : 60 %
- Étincelles (équipement électrique, frottement) : 30 %
- Cigarettes allumées et autres sources d'ignition interdites : 10 %

##### **Équipement de chauffage (10 %) :**

- Plaques chauffantes : 50 %
- Fours : 30 %
- Autres équipements de chauffage : 20 %

**Gaz comprimés (5 %) :**

- Fuites de gaz : 70 %
- Manipulation inappropriée des bouteilles de gaz : 30 %

**Négligence humaine et autres causes (25 %) :**

- Non-respect des protocoles de sécurité : 40 %
- Erreurs de manipulation des matériaux inflammables : 30 %
- Formation insuffisante du personnel : 20 %
- Autres causes : 10 %

**2.3 Arbre de défaillance sur incident dans un Laboratoire de chimie universitaire**

Contrairement à l'analyse des modes de défaillances, l'arbre de défaillances est une méthode déductive (déductif : procédant d'un raisonnement logique rigoureux). Elle permet de savoir comment un système peut être indisponible. Il s'agit de représenter les différents événements et leurs liaisons par des portes de logique (fonction ET ou fonction OU selon que la défaillance du matériel se produit lorsque les événements se réalisent ensemble ou séparément). [25]

**2.3.1 Principe**

Cette méthode déductive (de l'effet vers ses causes) a pour objet la recherche de toutes les combinaisons de défaillances élémentaires pouvant aboutir à un événement redouté, parfois identifié par une AMDEC. A partir de cet « événement sommet », on construit une arborescence (schéma graphique en forme d'arbre inversé) représentant l'enchaînement logique des « événements intermédiaires » jusqu'à la mise en cause des « événements élémentaires » (défaillance d'un composant). Cela par utilisation du symbolisme logique de l'algèbre de Boole. Il est ainsi possible d'identifier toutes les défaillances élémentaires pouvant conduire à l'événement redouté, puis de quantifier celui-ci par son taux de défaillance  $\lambda$  obtenu à partir des taux de défaillances  $\lambda_i$  de chaque composant mis en cause. [26]

Ce type d'analyse permet, dans le domaine de la maintenance :

- d'améliorer la conception ;



- de faire un diagnostic rapide ;
- de prévoir une meilleure logistique.

### 2.3.2 Définition et objectifs

L'arbre de défaillances est une représentation graphique de type arbre généalogique (la filiation d'une famille). Il représente une démarche d'analyse d'événement. L'arbre de défaillances est construit en recherchant l'ensemble des événements élémentaires, ou les combinaisons d'événements, qui conduisent à un événement redouté (E.R.).

L'objectif est de suivre une logique déductive en partant d'un événement redouté pour déterminer de manière exhaustive (exhaustif : sujet traité à fond) l'ensemble de ses causes jusqu'aux plus élémentaires. Les objectifs sont résumés en quatre points :

- La recherche des événements élémentaires, ou leurs combinaisons qui conduisent à un E.R.
- La représentation graphique des liaisons entre les événements. Remarquons qu'il existe une représentation de la logique de défaillance du système pour chaque E.R. Ce qui implique qu'il y aura autant d'arbres de défaillances à construire que d'E.R. retenus.
- Analyse qualitative : cette analyse permet de déterminer les faiblesses du système. Elle est faite dans le but de proposer des modifications afin d'améliorer la fiabilité du système. La recherche des éléments les plus critiques est faite en déterminant les chemins qui conduisent à un E.R. Ces chemins critiques représentent des scénarios qui sont analysés en fonction des différentes modifications qu'il est possible d'apporter au système.
- Enfin, il est possible d'évaluer la probabilité d'apparition de l'E.R. connaissant la probabilité des événements élémentaires. C'est l'analyse quantitative qui permet de déterminer d'une manière quantitative les caractéristiques de fiabilité du système étudié.

L'objectif est en particulier de définir la probabilité d'occurrence des divers événements analysés. Les calculs reposent sur : les équations logiques tirées de la structure de l'arbre de défaillances et des probabilités d'occurrence des événements élémentaires. [27]

**2.3.3 Les éléments et composants**

**2.3.3.1 Définition des événements**

**Événement redouté**

L'événement redouté est l'événement indésirable pour lequel nous faisons l'étude de toutes les causes qui y conduisent. Cet événement est unique pour un arbre de défaillances et se trouve au "sommet" de l'arbre. Avant de commencer la décomposition qui permet d'explorer toutes les combinaisons d'événements conduisant à l'événement redouté, il faut définir avec précision cet événement ainsi que le contexte de son apparition. L'événement redouté est représenté par un rectangle au sommet de l'arbre.

**Événements intermédiaires**

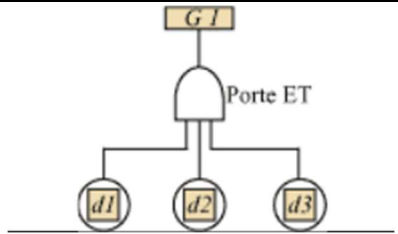
Les événements intermédiaires sont des événements à définir comme l'événement redouté. La différence avec l'événement redouté est qu'ils sont des causes pour d'autres événements. Par exemple c'est la combinaison d'événements intermédiaires qui conduit à l'événement redouté. Un événement intermédiaire est représenté par un rectangle comme l'événement redouté.

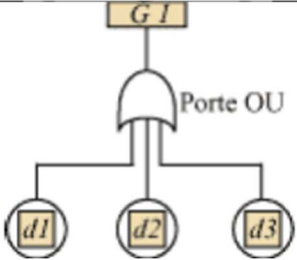
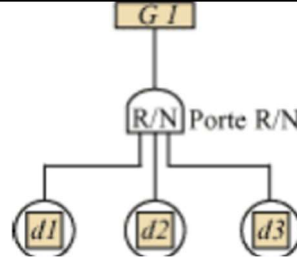
**Événements élémentaires**

Les événements élémentaires sont des événements correspondants au niveau le plus détaillé de l'analyse du système. Dans un arbre de défaillances, ils représentent les défaillances des composants qui constituent le système étudié. Pour fixer le niveau de détail de notre étude, nous considérons en général que les événements élémentaires coïncident avec la défaillance des composants qui sont réparables ou interchangeables. Les événements élémentaires sont représentés par des cercles.

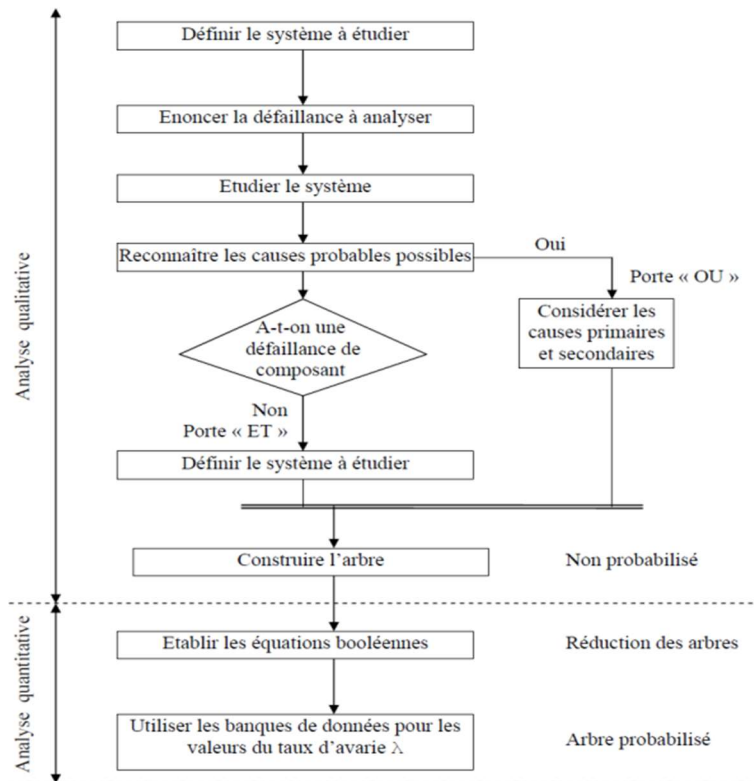
**2.3.3.2 Les portes logiques**

Les portes logiques permettent de représenter la combinaison logique des événements intermédiaires qui sont à l'origine de l'événement décomposé.

<p><b>Porte ET :</b></p> <p>L'événement G1 ne se produit que si les événements élémentaires d1, d2 et d3 existent simultanément.</p>	 <p>The diagram shows a logic gate labeled 'Porte ET' (AND gate) with three inputs at the bottom labeled 'd1', 'd2', and 'd3' inside circles. A single output line at the top is labeled 'G1' inside a rectangle.</p>
--	---

<p><b>Porte OU :</b></p> <p>L'événement G1 se produit de manière indépendante si l'un ou l'autre des événements élémentaires d1, d2 ou d3 existe</p>	
<p><b>Porte R/N :</b></p> <p>Si R=2 et N=3 alors il suffit que deux des événements élémentaires d1, d2, d3 soient présents pour que l'événement G1 se réalise.</p>	

**2.1.1 Les étapes de la construction de l'arbre de défaillances**



**Figure 2.6 :** Schéma de construction d'une ADD

**2.3.4 L'Arbre de défaillance**

Nous allons présenter ici les sous arbres de défaillances des différentes causes intermédiaires qui mène à l'évènement redouté qui est un incendie important dans un laboratoire de chimie dans une université ( ou la manipulation de produits chimiques est très variée et en quantité consistante , ou la fréquentation des personnes ( étudiants , enseignants , techniciens est très

importante) et aussi le nombre de matériel et équipements électroniques et électriques utilisés sont nombreux et parfois dangereux.

Selon les statistiques et les données et après notre recherche, les taux de défaillances ou bien les probabilités d'occurrence de chaque cause et source sont des estimations car les données de ce type d'accidents varient selon type de laboratoire et les équipements et substances utilisés et le pays et plusieurs d'autres paramètres.

Notre étude concerne un incident spécifique qui ne concerne pas un système composé d'équipements avec une fiabilité variable dans le temps, il est difficile de calculer ou de trouver un taux de défaillance précis, donc à la base des données historiques, des études similaires et des recommandations de l'industrie on a déterminé la probabilité de chaque évènement indésirable.

**2.3.4.1 Sous-ADD des causes techniques**

Il se compose des quatre facteurs les plus importants dans les incendies de laboratoire :

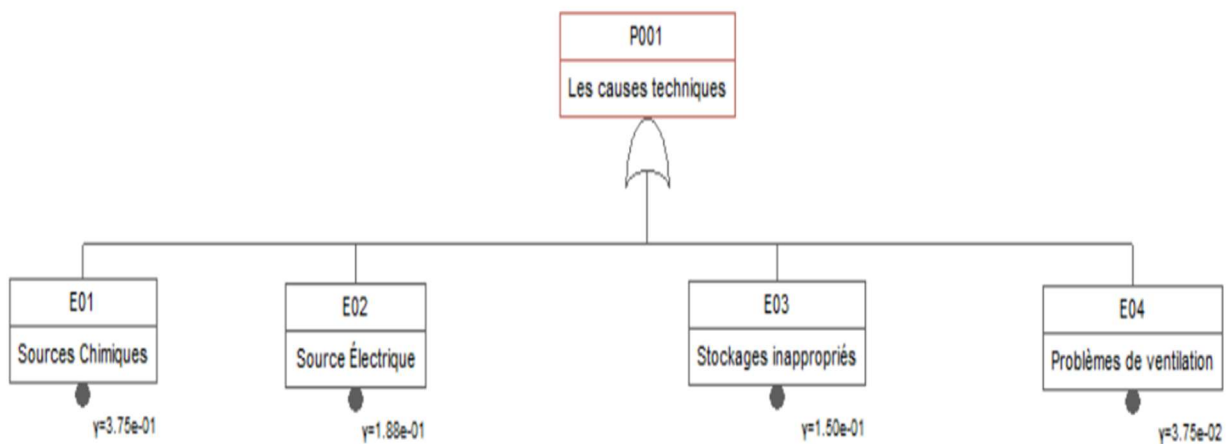


Figure 2.7 : ADD des causes techniques

**2.3.4.1.1 Tableau des probabilités**

Source	Probabilités
Sources chimiques	0.375
Sources électriques	0.2
Stockages inappropriés	1.5
Problèmes de Ventilation	0.275

Tableau 2.1 : probabilités d'occurrence des causes techniques

**2.3.4.1.2 Sous -ADD des sources chimiques**

Ces sources peuvent entraîner d'énormes pertes et des catastrophes difficiles à contrôler si elles ne sont pas intervenues rapidement.

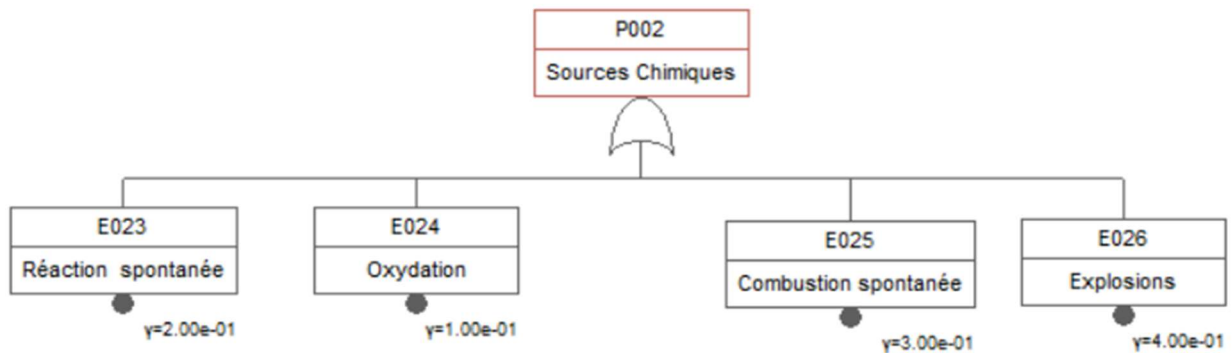


Figure 2.8 : ADD des sources chimiques

**2.3.4.1.3 Tableau des probabilités**

Source	Probabilités
Réaction spontanée	0.2
Oxydation	0.1
Combustion spontanée	0.3
Explosion	0.4

Tableau 2.2: probabilités d'occurrence des sources chimiques

**2.3.4.1.4 Sous- ADD des sources électriques**

Les risques électriques n'en sont pas moins dangereux du fait du grand nombre d'appareils électriques utilisés, la prévention est donc un facteur important de réduction des risques.

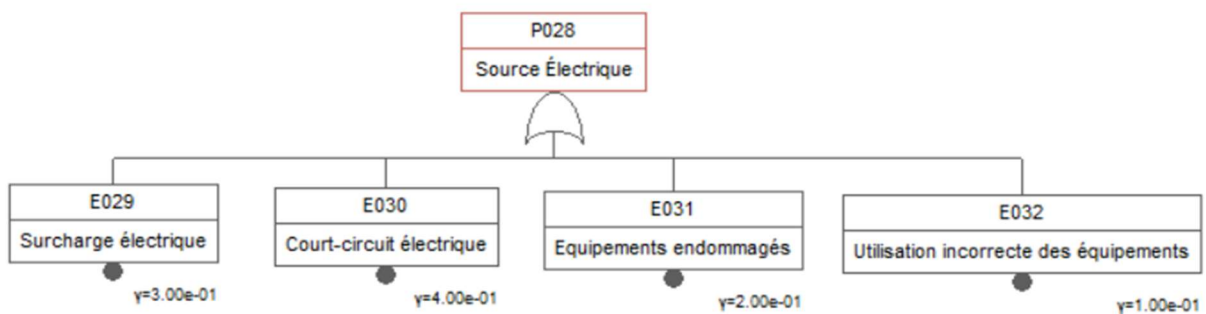


Figure 2 9: ADD des sources électriques

**2.3.4.1.5 Tableau des probabilités**

Source	Probabilités
Surcharge électrique	0.3
Court-circuit électrique	0.4
Equipements endommagés	0.2
Utilisation incorrecte des équipements	0.1

Tableau 2.3: probabilités d’occurrence des sources électriques

**2.3.4.1.6 Sous -ADD de stockages inappropriés**

Comme on dit déjà le stockage inadéquat et le déversement des produits résultent un stockage inapproprié des produits chimique

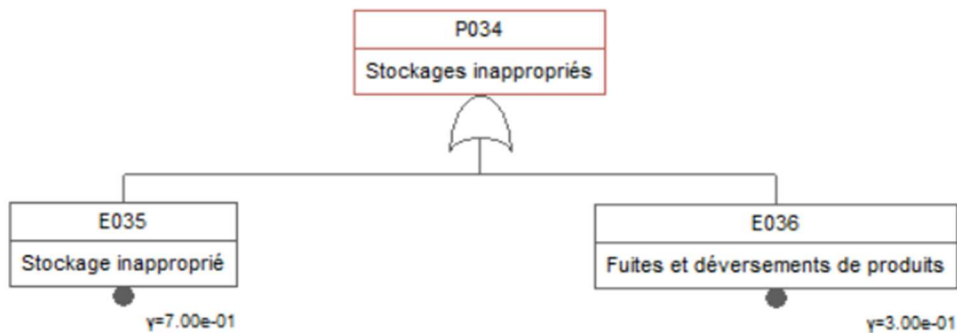


Figure 2.10 : ADD de stockages inappropriés

**2.3.4.1.7 Tableau des probabilités**

Source	Probabilités
Stockage inadéquat	0.7
Fuites et déversements de produits	0.3

Tableau 2.4: probabilités d’occurrence de problèmes relative au stockages inappropriés

**2.3.4.1.8 Sous -ADD de problèmes de ventilation**

La ventilation est une nécessité et peuvent conduire à des problèmes d’accumulation d’air a causes de défaillance des hottes ou l'obstruction des ouvertures de ventilation.

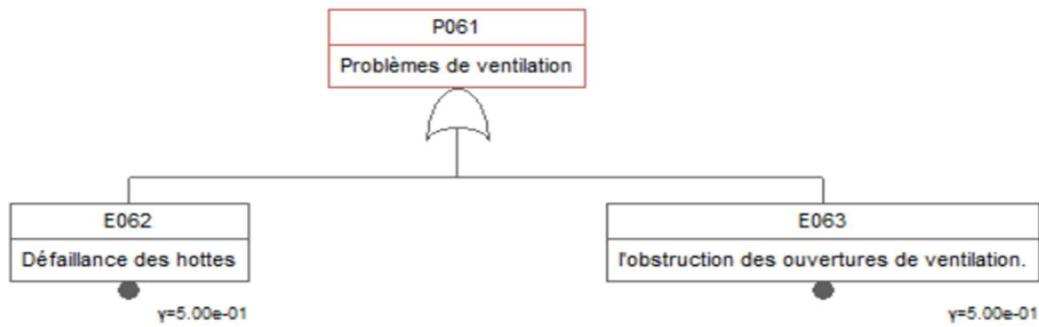


Figure 2.11 : ADD de problèmes de ventilation

2.3.4.1.9 Tableau des probabilités

Source	Probabilités
L'obstruction des ouvertures de ventilation.	0.6
Défaillance des hottes	0.4

Tableau 2.5: probabilités d’occurrence de problèmes relative à la ventilation

2.3.4.2 Sous-ADD des causes humaines

Les causes humaines sont multiples mais on peut le résumer sur ces six principaux facteurs,

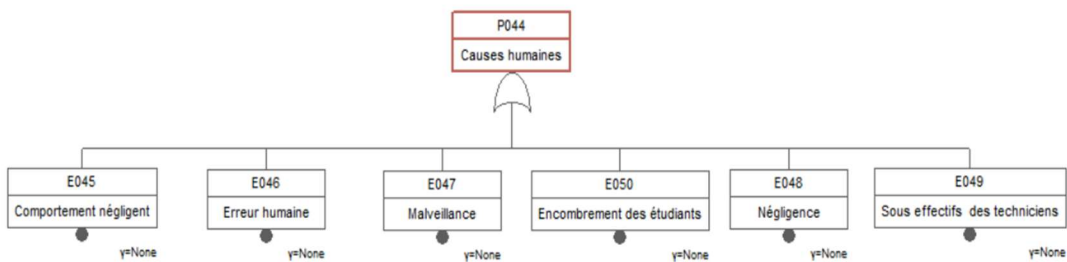


Figure 2.12 : ADD des causes humaines

2.3.4.2.1 Tableau des probabilités

Source	Probabilités
Comportement négligent	0.2
Erreur humaine	0.035
Malveillance	0.1
Encombrement des étudiants	0.15
Négligence	0.1
Sous effectifs des techniciens	0.1

Tableau 2.6: probabilités d’occurrence des causes humaines

2.3.4.3 L’arbre de défaillance principale

Enfin, notre arbre de défaillance principal d’un incendie dans le laboratoire de chimie avec les causes intermédiaires.

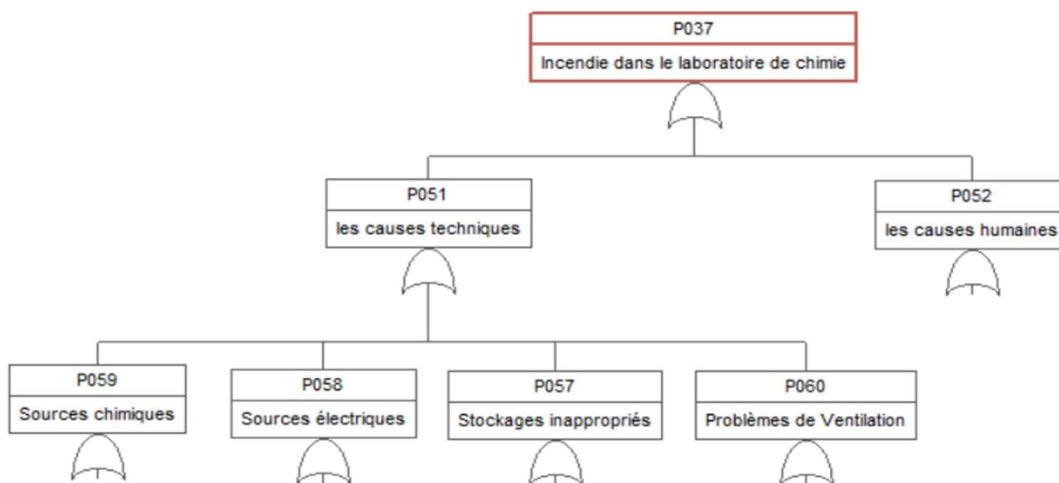


Figure 2.13 : ADD des causes les plus courants

2.3.4.3.1 Tableau des probabilités

Source	Probabilités
Causes humaines	0.25
Causes techniques	0.75
Sources chimiques	0.375
Sources électriques	0.2
Stockages inappropriés	1.5
Problèmes de ventilation	0.275

Tableau 2.7: probabilités d’occurrence des causes les plus courants

2.4 Conclusion

La sécurité incendie est un enjeu majeur pour les Etablissements Recevant du Public (ERP) qui peut entraîner des pertes matérielles importantes, des blessures voire des pertes en vies humaines. Les sources d’incendie sont diverses mais ils sont généralement liés aux matériaux, aux équipements, matériels et le facteur humain.

L’université est l’un des établissements recevant le public le plus exposé aux incendies, notamment les laboratoires de chimie, et les incendies peuvent résulter de nombreuses causes technologiques et humaines, il est donc nécessaire de mettre en place des mesures de



prévention reposant sur un ensemble de mesures techniques, organisationnelles et les mesures humaines telles que l'entretien et la maintenance périodiques des installations, le stockage approprié des produits inflammables et l'installation des systèmes de détection, d'alarme et d'extinction d'incendie, d'autre part le personnel doit être formé sur la manipulation correcte des produits et aux procédures d'évacuation et de premiers secours en cas d'incendie.

### 3 Chapitre 03 : Audit sur les moyens de prévention mise en place pour l'incendie dans le laboratoire de chimie.

#### 3.1 But et périmètre de l'audit

L'objectif principal de notre audit est d'évaluer l'efficacité des mesures de sécurité mises en place, telles que les systèmes de ventilation, les armoires de stockage des produits chimiques, les équipements de lutte contre l'incendie, les procédures de contrôle d'accès et d'évaluer la conformité aux normes de sécurité et de procédures établies, ainsi que d'identifier les risques potentiels et les domaines d'amélioration.

Cet audit concerne les mesures de sécurité incendie mises en place dans le laboratoire de chimie, pour cela on va tester l'efficacité des mesures de prévention, de protection et de gestion des incendies dans le laboratoire les points qui seront examinés comprennent :

**Les installations physiques :** Cela inclut l'évaluation de la conception, construction et de la disposition des locaux, la disponibilité des sorties de secours, la fonctionnalité des systèmes de détection, d'alarme et d'extinction des incendies, le stockage des produits chimiques inflammables, etc.

**Les procédures et protocoles :** Nous examinerons les procédures et protocoles documentés pour la prévention des incendies, la manipulation sûre des produits chimiques, l'utilisation des équipements de lutte contre l'incendie, les procédures d'évacuation, Nous évaluerons également si ces procédures sont correctement mises en œuvre par le personnel.

**La formation et la sensibilisation :** Nous évaluerons les programmes de formation en matière de sécurité incendie pour le personnel du laboratoire. Nous vérifierons si des formations initiales et périodiques sont prévues, si le personnel est conscient des procédures de sécurité incendie, et si des exercices d'évacuation sont régulièrement organisés.

**Les pratiques opérationnelles :** Nous observerons les pratiques de manipulation des produits chimiques, le stockage des produits chimiques, les procédures de nettoyage et d'entretien, l'accès aux équipements de lutte contre l'incendie, etc. Nous évaluerons si ces pratiques sont conformes aux normes de sécurité incendie et s'il y a des mesures en place pour prévenir les risques d'incendie.

**La gestion des situations d'urgence :** Nous examinerons les plans d'urgence du laboratoire, les procédures de communication en cas d'incendie, les moyens de communication d'urgence,

les plans de continuité des activités, etc. Nous évaluerons également si des exercices d'urgence sont régulièrement organisés et si des procédures de débriefing après incident sont en place.

### **3.2 Vue Réglementaire d'audit**

Le contexte réglementaire joue un rôle essentiel dans la mise en place des mesures de sécurité incendie dans les laboratoires de chimie. Dans le cadre de cet audit, il est important de comprendre les réglementations et les normes spécifiques qui s'appliquent au notre laboratoire de chimie.

**Réglementations en matière de sécurité incendie :** Nous examinerons le respect des réglementations locales, nationales et internationales relatives à la sécurité incendie qui sont applicables au laboratoire. Cela peut inclure des codes du bâtiment, des normes de sécurité spécifiques à l'industrie chimique, des réglementations relatives à la manipulation et au stockage des produits chimiques inflammables, etc. Nous évaluerons si le laboratoire est en conformité avec ces réglementations et s'il a mis en place les mesures de sécurité nécessaires.

**Normes de sécurité internes :** En plus des réglementations externes, nous examinerons également l'application ses normes de sécurité internes spécifiques au laboratoire. Cela peut inclure des politiques de sécurité incendie établies par l'entreprise, des directives internes sur l'utilisation des équipements de lutte contre l'incendie, des procédures d'évacuation spécifiques au laboratoire, etc. Nous évaluerons si ces normes internes sont alignées sur les réglementations externes et si elles sont effectivement mises en œuvre dans le laboratoire.

**Exigences en matière de formation et de certification :** Nous vérifions aussi les exigences en matière de formation et de certification pour le personnel du labo. Cela peut inclure des formations spécifiques sur la sécurité incendie, l'utilisation des équipements de lutte contre l'incendie, les premiers secours, etc. Nous vérifierons si le personnel est correctement formé et certifié conformément aux réglementations et aux normes applicables.

#### **3.2.1 Normes internationales relatives à la sécurité incendie qui peuvent être applicables au laboratoire de chimie :**

Il existe plusieurs normes tels que :

**Norme NF S 60-303 :** Établissements recevant du public (ERP) - Dispositions particulières applicables aux laboratoires d'enseignement et de recherche : Cette norme française spécifique concerne les laboratoires d'enseignement et de recherche. Elle fournit des

directives détaillées pour la sécurité incendie, y compris les équipements de lutte contre l'incendie, les issues de secours, les procédures d'évacuation, etc.

**Norme NF X 08-070** : Manipulation des produits chimiques dangereux - Sécurité et santé au travail : Cette norme fournit des recommandations pour la manipulation sécuritaire des produits chimiques dangereux, y compris les mesures de prévention des incendies. Elle peut être utilisée pour évaluer si le laboratoire suit les bonnes pratiques en matière de sécurité chimique.

**Norme ISO 45001 :2018** : Systèmes de management de la santé et de la sécurité au travail : Cette norme spécifie les exigences pour établir, mettre en œuvre et améliorer un système de management de la santé et de la sécurité au travail. Elle peut être utilisée pour guider la mise en place de mesures de prévention des incendies et de protection du personnel dans le laboratoire.

**Norme NFPA 45** : Standard on Fire Protection for Laboratories Using Chemicals : Cette norme de la National Fire Protection Association (NFPA) fournit des directives pour la protection contre les incendies dans les laboratoires utilisant des produits chimiques. Elle couvre des aspects tels que le stockage des produits chimiques, les systèmes de détection et d'extinction des incendies, les équipements de sécurité, les procédures d'évacuation, etc.

**Norme NFPA 30** : Flammable and Combustible Liquids Code : Cette norme de la NFPA fournit des exigences pour le stockage, la manipulation et l'utilisation en toute sécurité des liquides inflammables et combustibles. Elle peut être applicable au laboratoire de chimie qui manipule et stocke des produits chimiques inflammables.

**Norme NFPA 13** : Standard for the Installation of Sprinkler Systems : Cette norme de la NFPA fournit des exigences pour la conception, l'installation et la maintenance des systèmes de sprinklers. Elle peut s'appliquer si le laboratoire dispose d'un système de sprinklers pour la protection contre les incendies.

**Norme EN 14470-1** : Safety storage cabinets - Part 1 : Storage of flammable liquids : Cette norme européenne spécifie les exigences de sécurité pour les armoires de stockage utilisées pour les liquides inflammables. Elle peut être applicable si le laboratoire utilise des armoires de stockage pour les produits chimiques inflammables.

### **3.3 L'évaluation des risques**

L'évaluation des risques dans un laboratoire de chimie est une étape importante pour assurer la sécurité des personnes travaillant dans le laboratoire ainsi que pour prévenir les incidents et accidents.

#### **3.3.1 Identification des risques majeurs**

Les risques sont multiples et ils peuvent être liés à plusieurs causes tels que la manipulation de produits chimiques, l'utilisation d'appareils ou de machines, ou à d'autres facteurs tels que le stockages des substances inflammables et les fuites de gaz. Donc il est important d'identifier tous les risques dans le laboratoire.

On peut identifier plusieurs risques comme :

**Risques chimiques** : Les produits chimiques utilisés dans le laboratoire de chimie peuvent être toxiques, corrosifs, inflammables, réactifs, cancérigènes ou mutagènes. Les risques associés incluent des brûlures, des irritations cutanées, des intoxications par inhalation ou ingestion, ainsi que des réactions chimiques indésirables pouvant entraîner des émanations toxiques, des explosions ou des incendies. Il est essentiel de connaître les propriétés des produits chimiques utilisés et de manipuler et stocker ces produits en toute sécurité.

**Risques d'incendie et d'explosion** : Le laboratoires de chimie contiennent souvent des produits chimiques inflammables et réactifs. Ces substances peuvent s'enflammer ou exploser lorsqu'elles sont exposées à une source d'ignition, à des températures élevées ou à une réaction chimique inappropriée. Une mauvaise manipulation, un stockage inadéquat ou une utilisation imprudente d'équipements peuvent conduire à des incendies ou des explosions. Il est important d'éviter les sources d'ignition, de manipuler les produits chimiques inflammables avec précaution et de connaître les procédures d'extinction appropriées en cas d'incendie.

**Risques d'asphyxie** : Certains produits chimiques utilisés dans ce type des laboratoires peuvent libérer des gaz toxiques, corrosifs ou asphyxiants. Ces gaz peuvent s'accumuler dans l'air, réduisant la concentration d'oxygène et créant un risque d'asphyxie pour les personnes présentes dans le laboratoire. Une ventilation adéquate est essentielle pour éliminer les gaz nocifs et maintenir des niveaux d'oxygène appropriés.

**Risques d'exposition cutanée et respiratoire** : Les produits chimiques peuvent être absorbés à travers la peau ou inhalés, entraînant des irritations, des brûlures, des allergies, des troubles respiratoires, voire des effets toxiques à long terme. Il est important de porter des équipements de protection individuelle appropriés, tels que des gants, des blouses de laboratoire, des lunettes de protection et des masques respiratoires, pour minimiser l'exposition aux produits chimiques dangereux.

**Risques de réactions violentes** : Certains produits chimiques peuvent réagir de manière inattendue lorsqu'ils sont mélangés ou chauffés. Ces réactions peuvent être violentes, entraînant des émanations de gaz dangereuses, des dégagements de chaleur ou même des explosions. Il est crucial de connaître les propriétés chimiques des produits utilisés et de suivre les procédures appropriées pour les manipuler et les stocker, en évitant les mélanges incompatibles.

**Risques électriques** : Notre laboratoire de chimie utilise des équipements électriques, tels que des appareils de chauffage, des agitateurs magnétiques ou des réfrigérateurs. Une mauvaise utilisation ou une défaillance de ces équipements peut entraîner des risques d'électrocution ou d'incendie. Il est important de suivre les procédures de sécurité électrique, de maintenir les équipements en bon état et de les utiliser correctement.

**Risques liés aux appareils sous pression** : Certains équipements de laboratoire, tels que les autoclaves, les récipients sous pression ou les réacteurs, peuvent contenir des substances sous pression. Une mauvaise manipulation ou une défaillance de ces équipements peut entraîner des explosions ou des dégagements violents de substances sous pression. Il est essentiel de suivre les procédures appropriées pour utiliser, entretenir et inspecter ces appareils.

### **3.3.2 Les risques les plus courants dans le laboratoire**

#### **3.3.2.1 La combustion**

C'est l'un des causes les plus souvent dans les laboratoires de chimie et on peut définir comme : un processus d'oxydation qui se produit par réaction chimique entre deux corps : un combustible et un comburant, et existe plusieurs types de combustion tels que :

**La combustion très lente** : il s'agit d'une oxydation sans émission de lumière ni élévation de température (par exemple, formation de la rouille).

**La combustion lente** : il s'agit d'une oxydation sans émission de lumière dont la température reste inférieure à 500 C (par exemple, combustion dans les déchets d'ordures ménagères).

**La combustion vive** : il s'agit du feu. La vitesse de propagation est de quelques mètres par seconde et la pression augmente peu.

**La combustion très vive (déflagration)** : il s'agit d'une explosion avec une vitesse de propagation inférieure à la vitesse du son et une pression de 30 t/m<sup>2</sup>.

**La combustion instantanée (détonation)** : il s'agit d'une explosion avec une vitesse de propagation supérieure à la vitesse du son et une pression de 300 t/m<sup>2</sup>.

Dans tous les cas, la combustion peut être complète (dégagement de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), d'eau (H<sub>2</sub>O...)) ou incomplète (dégagement de monoxyde de carbone (CO), de fumées...).

### **3.3.2.2 Explosion**

Des explosions peuvent se produire lorsqu'une réaction chimique ou une accumulation de gaz provoque une augmentation soudaine de la pression dans un espace clos, peuvent survenir également en cas d'altération de produits chimiques réactifs, de génération de gaz ou de vapeurs, ou lorsque le contenu sous pression est défectueux ou mal utilisé. [21]

la décomposition très rapide d'une substance qui peut se produire instantanément sous l'effet d'un amorçage (présence de groupements explosophores N-N, O-O... instabilité liée à la géométrie contrainte de la molécule).

la polymérisation spontanée d'une substance initiée par des traces acides, basiques ou métalliques ; • la réaction très rapide entre plusieurs substances, déclenchée sous l'effet d'un amorçage ou suite à une période d'accélération de la réaction.

la libération très rapide de gaz ou de gaz liquéfié sous pression. Une explosion dégage en un temps très court une grande quantité d'énergie (exothermie) et des gaz, entraînant des

surpressions, des ruptures d'appareillage... Ce phénomène peut avoir des effets très graves sur les personnes et les locaux (souffle, onde de choc, fumées...). L'évaluation du risque d'explosion doit prendre en compte :

- Les propriétés physiques des produits tels que :
  - La densité.
  - Le domaine d'explosivité.
  - Le point d'éclair pour les liquides.
  - La granulométrie pour les solides.
  - La stabilité.
  - Les incompatibilités.
  - L'indice d'évaporation.
- Les conditions expérimentales :
  - Quantité, concentration, étendue de la surface d'évaporation, température, pression, présence de poussières mises en suspension, formation de dépôts de poussières...
- Les conditions environnementales : température, ventilation, hygrométrie...

### 3.3.2.3 Incompatibilités chimiques

Les réactions incontrôlables entre deux ou plusieurs produits chimiques peuvent aussi être à l'origine d'un départ d'incendie, d'une explosion, d'une réaction exothermique, d'un dégagement gazeux, d'une réaction de polymérisation incontrôlée. On parle alors d'incompatibilités entre produits. Toutefois, ce terme ne signifie pas systématiquement que deux produits ne peuvent pas être mis en réaction ensemble. Dans ce cas, la maîtrise de ces phénomènes implique de suivre un protocole expérimental strict notamment en ce qui concerne l'ajout des réactifs (ordre et quantité), le contrôle de la température pour éviter les emballements de réaction et la réalisation d'un montage approprié permettant notamment de piéger les produits formés au cours de la réaction.

### 3.3.3 Matières potentiellement dangereuses qui conduisent à un incendie

#### 3.3.3.1 Liquides

Leur combustion n'est possible qu'après leur transformation en vapeur. On parle de plusieurs propriétés physiques pour eux, dont notamment les deux points suivants :

**Le point d'éclair** : c'est la température à laquelle un liquide commence à distiller des vapeurs inflammables qui s'enflamment quand on approche une flamme et qui s'éteint quand on la



retire (conditions de laboratoire). Ce point permet le classement en liquides inflammables et très inflammables.

**Le point d'auto-inflammation** : c'est la température à laquelle les vapeurs s'enflamment sans qu'on approche une flamme.

On doit tenir compte du point d'éclair et du point d'auto inflammation lors du rangement des produits au laboratoire.

Le tableau suivants note les substances dangereuses couramment utilisées en laboratoire et ces utilisations et la gravité de chaque substance :

<b>Substance</b>	<b>Utilisation</b>	<b>Risques potentiels</b>	<b>Criticité</b>
Acide sulfurique	Réactif, catalyseur, agent de nettoyage	Corrosif, irritant, cancérogène, mutagène, toxique pour les organismes aquatiques	Haut
Acide nitrique	Réactif, catalyseur, agent de nettoyage	Corrosif, explosif, toxique, cancérogène, mutagène, tératogène	Haut
Acide chlorhydrique	Réactif, catalyseur, agent de nettoyage	Corrosif, irritant, toxique pour les organismes aquatiques	Moyen
Acide perchlorique	Réactif, agent oxydant, agent de nettoyage	Explosif, oxydant, corrosif, cancérogène, mutagène	Haut
Acétone	Solvant, nettoyant	Inflammable, irritant, toxique par inhalation	Moyen
Peroxyde d'hydrogène	Oxydant, Désinfectant, agent de nettoyage	Combustion, Inflammable, irritant	Haut
Éthanol	Solvant, désinfectant, nettoyant	Inflammable, irritant, toxique par ingestion et inhalation	Moyen

Méthanol	Solvant, agent de déshydratation, nettoyant	Inflammable, toxique, irritant, corrosif, cancérigène, mutagène, tératogène	Haut
Dichlorométhane	Solvant, agent de dégraissage, réactif	Inflammable, toxique, corrosif, irritant, cancérigène, mutagène	Haut
Tétrahydrofurane	Solvant, agent de dégraissage, agent d'extraction	Inflammable, irritant, toxique par inhalation	Moyen
Chloroforme	Solvant, agent anesthésique, agent de nettoyage	Inflammable, toxique, cancérigène, mutagène, tératogène	Haut

Tableau 3.1 : les substances dangereuses couramment utilisées en laboratoire et ses caractéristiques

3.3.3.2 Gaz

En fonction des différents gaz, le mélange avec l'air est inflammable dans une zone définie située entre deux limites, la LIE (limite inférieure d'explosivité) et la LSE (limite supérieure d'explosivité).

**LIE** : est la concentration minimale en volume dans le mélange au-dessus de laquelle celui-ci peut être enflamme.

**LSE** : est la concentration maximale en volume dans le mélange au-dessous de laquelle celui-ci peut être enflamme.

On peut aussi rencontrer les termes LII (limite inférieure d'inflammabilité) et LSI (Limite supérieure d'inflammabilité).



Figure 3.1 : Zones d'explosivité

Pour toute opération, il est important de savoir si une atmosphère est explosive ou non. Il convient d'évaluer ce risque à l'aide d'appareillages adaptés (explosimètres). Cette évaluation ne prend toutefois en compte que les risques d'explosion, aussi l'absence de réponse d'un explosimètre ne doit pas faire penser que tout risque est écarté, notamment les risques d'intoxication.

Et voici un tableau récapitulatif de quelques gaz couramment trouvés en laboratoire :

<b>Gaz</b>	<b>Utilisation</b>	<b>Risques associés</b>	<b>Gravité</b>
Ammoniac	Utilisé pour la production d'engrais et la réfrigération	Asphyxie	Élevée
Azote	Gaz inerte pour préserver les échantillons sensibles à l'oxydation ou pour purger les systèmes de réacteurs chimiques	Asphyxie	Faible
Dioxyde de carbone	Gaz d'incubation pour les cultures cellulaires et pour les expériences nécessitant un environnement contrôlé.	Asphyxie en cas de concentration excessive	Moyenne
Monoxyde de carbone	Produit lors de la combustion incomplète des matières organiques	Des maux de tête, des étourdissements et une asphyxie	Élevée
Dioxyde de soufre	Gaz réactif et de protection	Incendie et d'explosion avec des oxydants forts	Élevée
Hydrogène	Alimenter les systèmes de	Explosion en cas d'accumulation dans un	Élevée

	chromatographie en phase gazeuse, comme gaz de protection pour les soudures et comme combustible dans les piles à combustible.	espace clos	
Oxygène	Utilisé pour la croissance des bactéries et des cellules et pour la production de gaz incendiaire.	Incendie et d'explosion en présence de matières combustibles	Faible
Chlorure d'hydrogène	La préparation de solutions acides et pour d'autres réactions chimiques	Irritation des yeux, de la peau et des voies respiratoires	Élevée
Méthane	Gaz de combustion dans les brûleurs Bunsen.	Incendie et d'explosion en présence d'une source d'ignition,	Moyenne

Tableau 3.2 : les gaz couramment trouvés en laboratoire et ces caractéristiques

**3.3.3.3 Solides**

Leur combustion se déroule en trois phases :

**La pyrogénéation** : dégagement de constituants gazeux.

**L'inflammation des vapeurs** : augmentation de la température des gaz dégagés, d'où accélération du processus.

**L'incandescence** : après épuisement des gaz de pyrogénéation, accélération de la carbonisation et augmentation de la température du matériau.

A noter que certains solides se transforment totalement en vapeur, on parle alors de sublimation.

Et voici un tableau récapitulatif de solides que l'on trouve dans le laboratoire :

Solide	Utilisation	Risque potentiels	Criticité
Chlorure de sodium	Électrolyte ou pour la préparation de solutions salines.	Irritation cutanée et oculaire s'il est en contact prolongé avec la peau ou les yeux.	Faible
Sulfate de cuivre	La coloration, la détection de protéines et l'analyse de l'eau.	Irritation des yeux et de la peau, des nausées, des vomissements et des maux de tête. Des dommages aux organes internes	Moyenne à élevée
Chlorure de calcium	La déshydratation, la préparation de solutions de calcium et le durcissement du béton.	Irritation cutanée et oculaire, une toux et une respiration sifflante. Corrosif pour les métaux.	Faible à moyenne
Sulfate de magnésium	La préparation de solutions de magnésium, la stabilisation des enzymes et la détente musculaire.	Irritation cutanée et oculaire en cas de contact prolongé	Faible à moyenne
Bicarbonate de sodium	Agent tampon, pour la préparation de solutions.	Irritation cutanée et oculaire en cas de contact prolongé.	Faible
Nitrate de potassium	Fertilisant, dans la production de poudre à canon et dans l'analyse de l'eau.	Une irritation cutanée et oculaire en cas de contact prolongé, inflammable lorsqu'il est exposé à des sources de chaleur ou des agents oxydants.	Faible à moyenne
Sulfate de zinc	La coloration, la galvanoplastie et	Toxique par inhalation, ingestion et contact avec	Faible à moyenne

	comme complément alimentaire.	la peau. Des dommages aux poumons, au foie et aux reins. Une irritation cutanée et oculaire, des nausées, des vomissements et des maux de tête.	
--	-------------------------------	---	--

Tableau 3.3 : les solides les plus utilisés dans un laboratoire de chimie et ces caractéristiques

**3.3.4 Les procédés et les activités dangereux les plus répétitifs dans le labo de chimie qui conduisant un incendie**

Dans un laboratoire de chimie, de nombreux procédés et activités comportent des risques d'incendie, parmi les procédés les plus répétitifs dans un laboratoire de chimie, ceux qui sont particulièrement propices à l'occurrence d'incendies comprennent la manipulation de liquides inflammables, les réactions produisant un dégagement gazeux, les réactions exothermiques, ainsi que la distillation, l'évaporation, le séchage et le nettoyage de la verrerie. Ces activités peuvent présenter des risques significatifs si elles ne sont pas réalisées de manière appropriée et sécurisée.

Dans le tableau, nous allons explorer plus en détail ces procédés et activités dangereux, ainsi que les mesures préventives qui peuvent être mises en place pour réduire les risques d'incendie dans un laboratoire de chimie.

Opérations, procédés et activités	Identification des dangers	Evaluation du risque incendie			Mesures de prévention recommandées
		Occurrence du déclenchement d'un incendie	Risque de propagation	Gravité	
Mode opératoire d'une manipulation chimique	Réaction inattendue dangereuse	Moyen à élevé	Moyen à élevé	Modérée à grave	Suivre les procédures appropriées, de respecter les quantités et les concentrations recommandées, et

					de manipuler les produits chimiques avec les équipements de protection individuelle (EPI) appropriés
Mélange de produits, préparation d'une solution, addition d'un produit	Réaction imprévue accompagnée d'un phénomène dangereux (projection, explosion)	Moyen	Moyen	Modérée	Respecter les proportions appropriées, de mélanger les substances de manière sûre et contrôlée, et d'éviter les réactions indésirables ou les dégagements de chaleur excessifs. Les produits chimiques doivent être ajoutés lentement et avec précaution, en évitant les éclaboussures ou les projections.
Réaction produisant un dégagement gazeux	Éclatement du récipient si le gaz ne peut pas	Moyen	Faible à moyen	Légère à modérée	Une ventilation adéquate dans la zone de réaction, effectuer les

	s'échapper ; explosion si le gaz est inflammable ; intoxication				réactions dans des enceintes appropriées comme des hottes
Réactions exothermiques	Perte de contrôle de la réaction, vaporisation de substance, explosion	Moyen à élevé	Moyen à élevé	Modérée à grave	Surveiller attentivement la température, d'utiliser des dispositifs de refroidissement si nécessaire, et de respecter les procédures spécifiques à chaque réaction
Siphonnage d'un liquide	Éclatement du conteneur ou du tuyau si le siphon- nage par surpression est employé	Faible à moyen	Faible à moyen	Légère à modérée	Utiliser des méthodes alternatives, comme l'utilisation de pipettes ou de systèmes de transfert sécurisés
Opérations sous pression	Éclatement de l'appareil avec projection d'éclats plus ou moins souillés, explosion,	Faible à moyen	Faible à moyen	Légère à modérée	Manipuler ces opérations avec prudence



	rupture de confinement pouvant entraîner une intoxication				
Extraction par un solvant	Incendie, explosion	Faible à moyen	Faible à moyen	Légère à modérée	Manipuler les solvants inflammables ou toxiques avec précaution et travailler dans une zone bien ventilée ou dans une hotte
Distillation	Incendie, explosion	Moyen à élevé	Moyen	Modérée à grave	Assurer que l'équipement est correctement assemblé et de surveiller attentivement la température et la pression pendant la distillation.
Évaporation. Séchage	Dégagement de vapeurs inflammables	Faible à moyen	Faible à moyen	Légère à modérée	Travailler dans une zone bien ventilée ou dans une hotte
Dessiccation d'un liquide	Explosion	Faible à moyen	Faible à moyen	Légère à modérée	Manipuler les produits chimiques dans une zone bien ventilée et de s'assurer qu'il n'y a pas de sources

					d'inflammation à proximité.
Transport des récipients de produits chimiques et des appareils	Incendie, explosion	Faible à moyen	Faible à moyen	Légère à modérée	Les déplacements doivent être effectués avec prudence

Tableau 3.4 : Des procédés et les activités qui comportent des risques d'incendie

**3.4 Check-list d'évaluation et vérification des mesures de prévention mise en place et la conformité aux réglementations**

Infrastructure	Conformité	
	Oui	Non
La construction des locaux (résistance au feu) est-elle conforme aux réglementations ?	X	
Le local a-t-il deux sorties indépendantes (dans le sens opposé) ?		X
Les portes s'ouvrent-elles dans le sens de l'évacuation ?	X	
Les sorties (de secours) sont-elles libres de tout obstacle et non verrouillées ?		X
Existe-t-il une fermeture générale dans le laboratoire de :		X
- La conduite de gaz ?		X
- La conduite d'eau ?		X
- L'électricité ?		X
Existe-t-il une fermeture de la conduite de gaz hors du laboratoire ?	X	
Les conduites et robinets de gaz sont-ils signalés en jaune ?	X	
Un contrôle et un entretien de l'installation de gaz sont-ils effectués annuellement ?		X
L'emplacement de la vanne (robinet) générale de gaz est-il bien indiqué et connu ?		X
L'installation de sortie du gaz (installation en T) est-elle bien fixée ?	X	
L'emplacement de l'interrupteur électrique général est-il bien indiqué ?		X
Le local de stockage des agents chimiques est-il bien aménagé ?	X	

Existe-t-il un éclairage de sécurité ?		X
Existe-t-il une douche de sécurité ?	X	
Existe-t-il un vestiaire extérieur au laboratoire ?		X

Tableau 3.5 : Check-list d'évaluation de l'infrastructure

Conditions de travail	Conformité	
	Oui	Non
La distance minimale recommandée entre les tables de travail est-elle respectée (1.2m) ?		X
Les tables de travail sont-elles :	X	
- En matière chimiquement inerte ?	X	
- Ignifuges ?	X	
- Facilement lavables ?	X	
- Munies d'un rebord ?		
Le laboratoire est-il rangé ?	X	
Les étuves sont-elles pourvues d'un thermostat de sûreté ?	X	
Les appareils présents dans le laboratoire sont-ils régulièrement contrôlés ?	X	
Les éviers possèdent-ils une grille destinée à recueillir les fragments et les éclats ?		X
Existe-t-il un éclairage suffisant ?	X	
Le laboratoire est-il bien aéré ?	X	
Utilisation de la hotte :	X	
- L'aspiration est-elle suffisante ?	X	
- Existe-t-il un dispositif antichute de l'écran ?	X	
- Le filtre est-il changé périodiquement ?		X
Les manipulations à réaliser sous hotte sont-elles clairement indiquées dans les modes opératoires ?		
Utilisation de :	X	
- Verre non fêlé ?	X	
- Paires pour pipette ?		

Utilisation d'un frigo spécifique pour produits chimiques	X	
Utilisation de becs Bunsen :		X
- La flamme est-elle régulière ?		X
- Existe-t-il des colliers de serrage aux deux extrémités ?		X
- Le tuyau est-il en bon état ?		X
- Nettoyage correct :	X	
- Des tables ?	X	
- Des sols ?		

Tableau 3.6 : Check-list d'évaluation des conditions de travail

Agents chimique	Conformité	
	Oui	Non
L'étiquetage des contenants des agents chimiques (bouteilles, pissettes, flacons) est-il conforme ?	X	
Les agents chimiques dangereux interdits sont-ils absents du laboratoire ?	X	
Les fiches de données de sécurité sont-elles présentes et à disposition des utilisateurs ?		X
Le registre des agents chimiques utilisés est-il disponible ?		X
La date de validation des agents chimiques est-elle contrôlée ?	X	
Les récipients contenant les agents chimiques sont-ils adéquats ?	X	
Les récipients en verre ont-ils une contenance maximale de 3 litres ?	X	
Système de ventilation fonctionne correctement et conforme ?	X	
Le personnel formé correctement sur l'intervention en cas de déversement des produits ?	X	

Tableau 3.7 : Check-list d'évaluation de la manipulation avec les agents chimique

Stockage des substances chimiques	Conformité	
	Oui	Non
Le stockage des agents chimiques s'effectue-t-il dans un local séparé ?		X
Les pictogrammes relatifs à la présence d'agents chimiques dangereux, la défense d'entrer, ... sont-ils affichés dans les lieux concernés ?	X	
Existe-t-il des armoires distinctes pour les produits inflammables,	X	

acides,basiques et les toxiques ?		
Les armoires sont-elles adéquates et leur contenu est-il bien rangé ?		X
Les armoires sont-elles bien signalées (avec symbole du danger) ?		X
Les armoires contenant les agents chimiques sont-elles fermées à clé ?	X	
A-t-on tenu compte d'un stockage séparé des agents chimiques incompatibles ?		X
Le stockage est-il contrôlé régulièrement (élimination des agents chimiques qui ne sont plus utilisés) ?		X
L'accès au stockage est-il réservé uniquement aux personnes autorisées ?	X	
La quantité minimale de produits correspondant aux besoins quotidiens est-elle stockée dans le laboratoire même ?	X	
Stockage des liquides inflammables :		X
- sont-ils stockés dans une armoire de sécurité ?		X
- Sont-ils stockés dans un local séparé ?		
- Le local est-il en matériau résistant au feu ?		X
- Le local (ou armoire) comporte-t-il (elle) une porte coupe-feu à fermeture		X
- La porte s'ouvre-t-elle vers l'extérieur ?		X
- L'installation électrique est-elle antidéflagrante ?	X	
- Existe-t-il un système de rétention des liquides ?		X
- Les pictogrammes « Défense de fumer » et « Défense d'allumer un feu » sont-ils apposés ?	X	

Tableau 3.8 : Check-list d'évaluation de stockage des substances chimiques

Lutte contre l'incendie	Conformité	
	Oui	Non
Les professeurs et préparateurs sont-ils formés et informés sur la démarche de prévention et intervention	X	
Les professeurs et préparateurs sont-ils formés sur l'intervention rapide en cas d'urgence ?	X	

Est-ce l'établissement exerce des simulations des scénarios de danger périodiquement ?		X
Des extincteurs au CO <sub>2</sub> et/ou à poudre sont-ils présents ?	X	
Les extincteurs sont-ils judicieusement répartis ?	X	
La signalisation des extincteurs est-elle conforme et visible ?	X	
Les extincteurs sont-ils facilement accessibles ?	X	
Les extincteurs sont-ils contrôlés annuellement ?	X	
Un dévidoir est-il installé à proximité du laboratoire ?		X
Une couverture anti-feu est-elle disponible ?		X
Les consignes en cas d'incendie sont-elles affichées ?		X
Existe-t-il un système de détection incendie dans le laboratoire ?		X
Existe-t-il un système d'extinction incendie dans le laboratoire ?		X
Existe-t-il des boutons poussoirs d'alarme dans le laboratoire ?		X
L'alarme est-elle audible dans le laboratoire ?		X
Le laboratoire est-il inspecté par le Service Régional d'Incendie lors de leur visite périodique ?		X
Existe-t-il un plan de gestion d'incendie		X
Les voies d'accès sont conformes aux exigences ?		X

Tableau 3.9 : Check-list d'évaluation de la lutte contre l'incendie

Installation électrique	Conformité	
	Oui	Non
Est-elle équipée d'un disjoncteur différentiel ?	X	
Existe-t-il une Très Basse Tension de Sécurité (TBTS) ?		X
Si non, l'installation est-elle équipée d'un transformateur de séparation (d'isolement) ?		X
Le tableau électrique est-il fermé à clé ?		X
Les appareils électriques (plaque-chauffante,)	X	
- Sont-ils en bon état ?	X	
- Possèdent-ils une marque de conformité (CE, CEBEC,...) ?		
Les prises électriques (éventuellement les multiprises) et les câbles électriques sont-ils en bon état ?	X	

La mise à la terre est-elle en ordre ?	X	
L'installation est-elle contrôlée régulièrement ?		X

Tableau 3.10 : Check-list d'évaluation des installations électrique

Généralités	Conformité	
	Oui	Non
Les professeurs et préparateurs sont-ils formés sur toutes les manipulations	X	
L'interdiction de boire et de manger est-elle respectée ?	X	
Existe-t-il des moyens de protection individuelle pour le personnel :	X	
- Tabliers ?		X
- Lunettes ?		X
- Gants ?		
Existe-t-il des moyens de protection individuelle pour les élèves	X	
- Tabliers ?		X
- Lunettes ?		X
- Gants ?		
Les équipements de protection individuelle sont-ils en nombre suffisant et portés ?	X	
Existe-t-il une boîte de secours adéquate ?		X
La boîte est vérifiée périodiquement ?		X
Un rince-œil ou une fontaine oculaire ou une douche de sécurité est-il disponible ?		X
Dispositions prises pour secourir rapidement et efficacement en cas d'urgence :	X	
- Un téléphone est-il rapidement accessible ?		X
- Les numéros de téléphone suivants sont-ils affichés :		X
Le 14 ?		X
Du Samu ?		X
Du (des) médecin(s) ?		X
Des secouristes ?		

Les poubelles sont-elles en matériau ignifuge et avec couvercle ?	X	
Un exercice d'évacuation spécifique est-il organisé ?		X
Existe-t-il un permis d'environnement pour le laboratoire et ses réserves ?	X	
Les professeurs et préparateurs sont-ils suivis par la Médecine du travail ?		X

Tableau 3.11 : Check-list d'évaluation des généralités

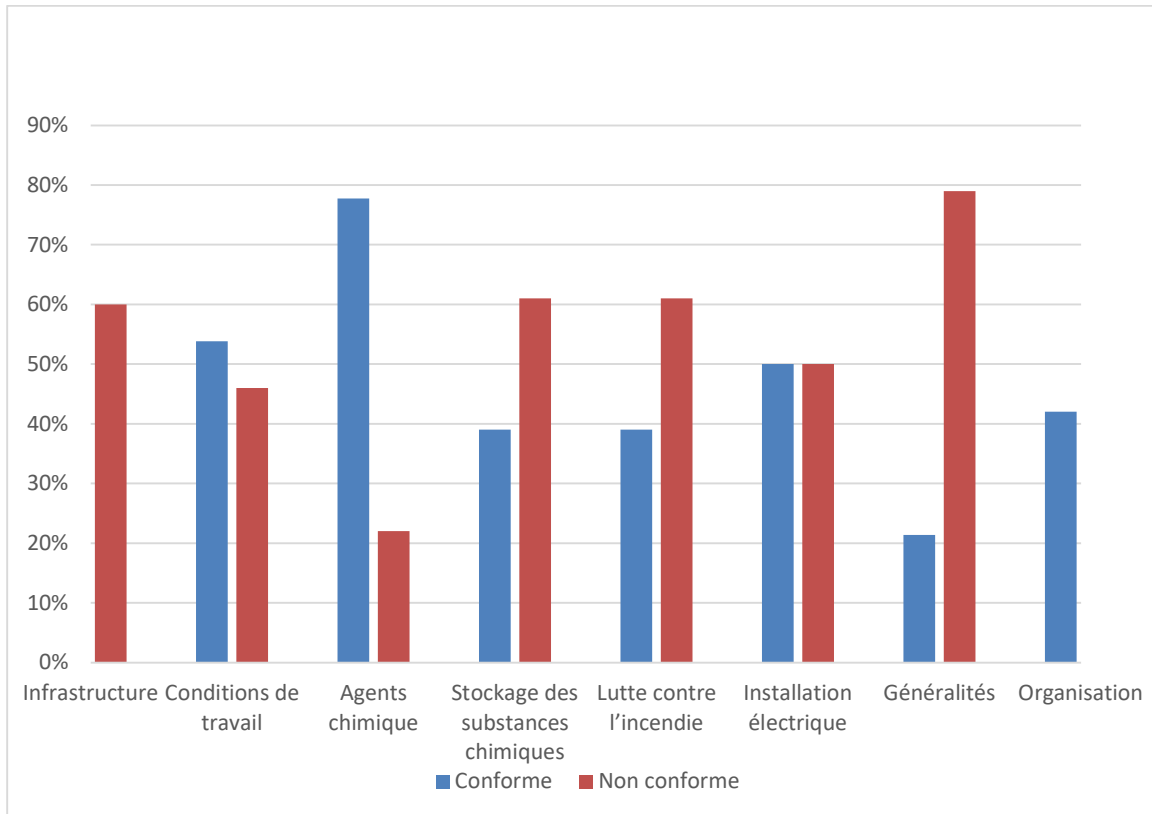
Organisation	Conformité	
	Oui	Non
Existe-t-il un règlement d'ordre intérieur propre au laboratoire ?	X	
Existe-t-il des procédures en cas d'accidents/incidents (1ers soins) ?		X
Les procédures en cas d'accidents/incidents sont-elles mises à disposition et connues du personnel et des élèves ?		X
Existe-t-il des consignes de sécurité relatives aux différents risques : - Pour le personnel ? - Pour les élèves ?	X	
	X	
Ces consignes sont-elles affichées, transmises et expliquées au(x) : - personnel ? - élèves ?	X	
	X	
Ces consignes sont-elles respectées : - Par le personnel ? - Par les élèves ?	X	
	X	
Existe-t-il une liste des déchets produits dans le laboratoire ?		X
Existe-t-il une politique d'élimination correcte des déchets solides et liquides ?		X
Des absorbants sont-ils prévus en cas d'écoulement accidentel d'agents chimiques dangereux ?		X
Des absorbants sont-ils prévus en cas d'écoulement accidentel d'agents chimiques dangereux ?		X
Des absorbants sont-ils prévus en cas d'écoulement accidentel d'agents chimiques dangereux ?		X



Existe-t-il une politique d'achat conforme ?		
Signalez-vous les problèmes rencontrés au sein du laboratoire ? (Électricité,	X	

Tableau 3.12 : Check-list d'évaluation d'Organisation

**3.5 Discussion de résultat et les écarts par rapport aux réglementations**



**3.5.1 Conclusion de la vérification et l'évaluation de conformité**

Comme nous pouvons le voir dans le questionnaire qui a été réalisé avec l'aide de mes chères professeurs **Z. Serat, Mecheken, Z Talbi, N Aoumer** malheureusement, les laboratoires de chimie au niveau de l'institut se sont révélés inadaptés et ne répondent pas à de nombreuses exigences, notamment celles liées aux infrastructures et à la protection et à la lutte contre les incendies.

Les résultats de l'audit de sécurité dans notre laboratoire de chimie viennent d'être compilés, et je voulais passer en revue les statistiques avec vous. Tout d'abord, en ce qui concerne l'infrastructure, nous avons constaté que certains aspects sont conformes aux normes de sécurité. Cependant, il y a encore quelques domaines qui nécessitent des améliorations. Je

pense qu'il est essentiel que nous nous concentrions sur ces aspects non conformes pour garantir la sécurité de nos opérations.

En ce qui concerne les conditions de travail, nous avons identifié certaines lacunes en matière de conformité. La sécurité et le bien-être de notre personnel sont une priorité absolue, et nous devons prendre des mesures appropriées pour améliorer les conditions de travail et remédier aux problèmes identifiés. Cela pourrait inclure des formations supplémentaires et la mise en place de bonnes pratiques de travail.

Une autre préoccupation majeure concerne le stockage des substances chimiques. Les résultats révèlent un pourcentage élevé de non-conformité dans ce domaine. Nous devons agir rapidement pour remédier à ces problèmes, car le stockage approprié des produits chimiques est essentiel pour minimiser les risques d'incidents et assurer la sécurité de tous.

De plus, les mesures de lutte contre l'incendie présentent également un pourcentage élevé de non-conformité. Étant donné les dangers potentiels liés aux incendies dans notre laboratoire, il est impératif que nous prenions des mesures correctives adéquates. Cela pourrait inclure la révision des équipements d'extinction d'incendie, l'amélioration des procédures de sécurité et des formations supplémentaires pour notre personnel.

Les résultats montrent également que nous avons une bonne conformité en ce qui concerne les agents chimiques, ce qui est encourageant. Cependant, nous devons continuer à maintenir nos efforts et veiller à ce que toutes les mesures de sécurité appropriées soient mises en place pour minimiser les risques associés à l'utilisation de ces substances.

En ce qui concerne l'installation électrique, nous avons identifié des problèmes de conformité. Il est crucial que nous résolvions ces problèmes rapidement pour éviter les accidents électriques et garantir la sécurité de nos opérations. Nous devons prendre des mesures pour mettre à niveau notre installation électrique et la rendre conforme aux normes de sécurité.

Enfin, les résultats montrent que notre organisation présente des niveaux variables de conformité aux normes de sécurité. Pour maintenir un environnement sûr, nous devons renforcer nos pratiques organisationnelles et mettre en place des protocoles clairs pour que tout le personnel les suive.

En analysant ces résultats, il est clair que nous devons concentrer nos efforts sur les domaines non conformes et prendre des mesures correctives appropriées. Cela nécessitera une

coopération et une coordination étroite entre tous les membres de l'équipe pour améliorer la sécurité globale de notre laboratoire de chimie.

Les utilisateurs ne peuvent en aucun cas être protégés si les conditions minimales d'utilisation et de fonctionnement ne sont pas respectées, et il n'est pas juste de tenir quiconque pour responsable ou redevable des conséquences en cas d'incendie pour des raisons.

Autres points essentiels à noter :

- Les laboratoires de nouveau bloc pédagogique n'ont pas été traités conformément aux procédures légales nécessaires et ont mise en service sans agrément et avant d'être contrôlés par les autorités.
- La construction de bloc pédagogique ne respecte pas la réglementation en vigueur.
- L'administration ne propose aucune formation avant le début du travaux pratiques que soit pour les professeurs ou pour les étudiants.
- Les sorties de secours sont fermées pour aucun raison (0 porte ouverte).
- Grande pénurie et rupture des moyens de protection individuelle.
- Une intervention rapide en cas d'accident n'est pas possible à cause de manque de douche d'urgence et l'ambulance pour l'évacuation.
- Des moyens d'extinction inadéquat.
- Il n'existe pas de moyen de détection et d'alarme qui sont crucial dans ce type de laboratoire.

### **3.6 Les mesures recommandées et les moyens de prévention nécessaire et conforme contre l'incendie**

La réglementation relative à la sécurité incendie se fonde sur un double principe de Prévention prévision : prévention du risque en l'empêchant d'exister ou, tout au moins, en se donnant tous les moyens pour le limiter au maximum ; et prévision du risque en pensant qu'il pourra exister à un moment donne et disposer des éléments nécessaires pour y faire face efficacement. Pour répondre à cet objectif, un certain nombre de moyens doivent être mis en œuvre pour assurer la sécurité des travailleurs et éviter les sinistres. Pour cela il est important de comprendre les propriétés des produits chimiques inflammables et de les contrôlés

Ces moyens sont de deux types : les moyens passifs : murs coupe-feu (CF) ou encloisonnement des escaliers par exemple, c'est-à-dire tout moyen de nature à limiter la propagation du feu ; et les moyens actifs : détecteurs, extincteurs, dispositifs de désenfumage

par exemple, c'est-à-dire tout moyen de nature à permettre l'évacuation des personnes dans les meilleures conditions de sécurité possibles.

### **3.6.1 Moyens passifs**

Les moyens « passifs » sont nombreux et parmi eux, il en est un qui concerne les mesures de constructions et l'isolement des bâtiments et des locaux, et les systèmes qui sont conçus pour minimiser les risques d'incendie ou d'explosion dans le labo.

Les matériaux employés pour la construction et l'aménagement des locaux doivent présenter une réaction au feu adaptée, afin de laisser aux personnes le temps d'évacuer en cas de sinistre.

Les bâtiments doivent être conçus de manière à réduire les risques de propagation d'un feu, avec : des recouvrements coupe-feu verticaux (trémies d'escaliers, gaines techniques...) et horizontaux (cloisons, portes...), un éloignement des bâtiments (un éloignement de 8 m correspond à un coupe-feu de degré 2 heures), une évacuation des gaz chauds (exutoires de fumées).

Les locaux doivent permettre une évacuation rapide des occupants ; ils doivent être équipés d'une alarme, d'issues et de dégagements convenablement dimensionnés et en nombre suffisant, d'un éclairage de sécurité et de dispositifs d'alerte des secours extérieurs.

Par ailleurs, les installations électriques doivent être réalisées, entretenues et vérifiées conformément à la réglementation en vigueur. [9]

#### **3.6.1.1 Résistance au feu des matériaux**

La résistance au feu des éléments de construction est définie comme le temps pendant lequel les éléments de construction peuvent jouer le rôle qui leur est dévolu malgré l'action de l'incendie.

##### **3.6.1.1.1 Appréciation qualitative**

Matériau stable au feu (SF) : les matériaux ne sont pas déformés par le feu ;

Matériau pare-flamme (PF) : les matériaux sont stables au feu, étanches aux flammes et il n'y a pas d'émission de gaz inflammables.

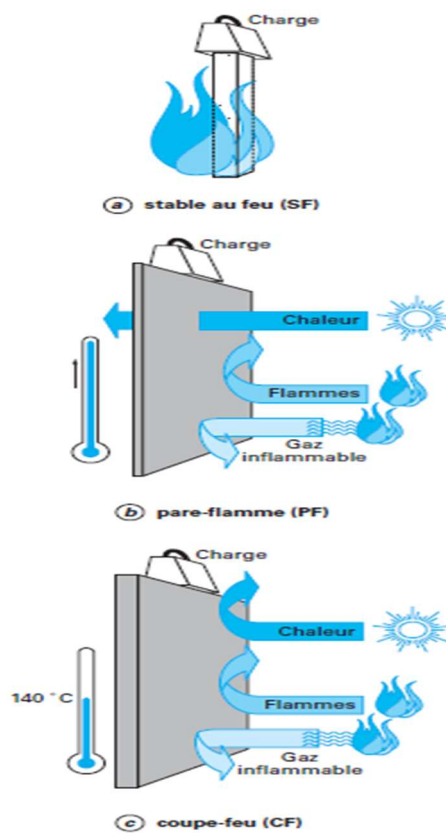
Matériau coupe-feu (CF) : les matériaux sont non seulement pare-flammes mais de plus ils sont isolants thermiques.

**3.6.1.1.2 Appréciation quantitative**

C'est le temps de résistance des matériaux au feu exprimée en heures (1/4 h, 1/2 h, 1 h, 1 h ½, 2 h).

Exemples : un mur coupe-feu de degré 2 heures (CF 2 h) ; une porte pare-flamme de degré ½ h (PF ½ h).

Les locaux sont en effet classés suivant les risques qu'ils présentent et se déclinent en locaux à risques particuliers d'une part (à risques importants ou à risques moyens) et en locaux à risques courants d'autre part.



**Figure 3.2 : Résistance des matériaux au feu**

Pour les locaux à risques importants, la réglementation prévoit notamment que les planchers hauts et bas ainsi que les parois verticales assurent un degré CF 2 h et les dispositifs de communication avec les autres locaux un degré CF 1 h. Pour les locaux à risques moyens, les planchers hauts et bas ainsi que les parois verticales doivent assurer un degré CF 1 h et les dispositifs de communication avec les autres locaux un degré CF 1/2 h. [11]

### **3.6.1.2 Le compartimentage**

Un autre moyen passif de prévention du risque incendie passe par la distribution intérieure et le compartimentage. Qui consiste à diviser un espace en compartiments distincts, afin de limiter la propagation de l'incendie et de protéger les occupants du bâtiment. Dans un laboratoire de chimie, le compartimentage est un élément important de la sécurité incendie et permet de protéger les travailleurs, les installations et les équipements contre les effets d'un incendie. En effet, pour limiter la propagation du feu et des fumées à travers la construction, les locaux et aussi les dégagements, doivent être séparés entre eux par des parois verticales et des portes ayant certaines caractéristiques de résistance au feu, similaires aux degrés coupe-feu évoqués plus haut. [9]

Et voici les éléments importants du compartimentage :

**Les murs :** Les murs qui séparent les différents compartiments doivent être constitués de matériaux ignifuges, tels que le béton, le plâtre ou le métal, et être d'une épaisseur suffisante pour assurer une protection adéquate.

**Les portes :** Les portes qui séparent les différents compartiments doivent également être adaptées à résister. Elles doivent être équipées de joints intumescents, qui se dilatent sous l'effet de la chaleur et assurent une fermeture étanche et dispositifs de fermeture automatique, comme des ressorts ou des vérins hydrauliques.

**Les planchers et les plafonds :** Les planchers et les plafonds doivent également être étanches et résistants à la chaleur, tandis que les plafonds doivent être équipés de systèmes de plafonds suspendus, qui empêchent la propagation de la fumée et du feu.

**Les ouvertures :** Toutes les ouvertures qui traversent les murs, les portes, les planchers et les plafonds doivent être équipées de dispositifs coupe-feu, tels que des clapets ou des volets intumescentes.

### **3.6.1.3 L'enclouement des escaliers**

Également un moyen passif de prévention du risque incendie. Il est obligatoire et permet aux personnes d'évacuer les lieux dans les meilleures conditions possibles, en les mettant à l'abri de la chaleur, des fumées et des gaz de combustion, qui représentent la première cause des décès enregistrés en cas d'incendie.

Les moyens de prévention et de prévision comprennent également les voies utilisables par les engins de secours (voies engins/ voies échelle). Elles constituent un autre facteur important de prévention du risque incendie puisque c'est par elles que les secours interviennent.

### **3.6.1.4 Système de prévention primordial dans les laboratoires**

**Le système de ventilation** : est l'un des moyens obligatoires dans un laboratoire de chimie pour assurer la prévention des risques. Il est conçu pour réduire la concentration de gaz toxiques, de vapeurs et de poussières dans l'air et pour éviter tous les risques d'incendie et d'explosion. Voici quelques détails sur les différents types de systèmes de ventilation :

**Ventilation générale** : La ventilation générale est le type de ventilation le plus courant dans les laboratoires de chimie. Contient des hottes qui évacuent l'air contaminé et le remplacent par de l'air frais qui sont équipées d'un système d'extraction pour aspirer les gaz et les vapeurs nocifs hors de la zone de travail. L'air est ensuite évacué à l'extérieur du bâtiment à travers des conduits.

**Ventilation locale** : qui est utilisée pour réduire les niveaux de contaminants dans une zone de travail spécifique. Elles incluent les hottes de fumée, les hottes à flux laminaire et les hottes à flux descendant.

**Systèmes de filtration** : ils sont utilisés pour l'élimination des contaminants de l'air. Les filtres sont généralement fabriqués à partir de charbon actif, de HEPA ou d'autres matériaux spécialement conçus pour capturer les contaminants.

**Systèmes de contrôle de la pression** : sont utilisés pour le but de maintenir une pression négative dans les zones où des produits chimiques dangereux sont stockés ou manipulés. Qui permettent d'empêcher les gaz et les vapeurs nocifs de s'échapper dans les zones de travail environnantes.

Il est important et nécessaire de maintenir et entretenir le système périodiquement pour garantir son fonctionnement. Les filtres doivent être changés régulièrement et les systèmes de ventilation doivent être nettoyés pour éviter l'accumulation de contaminants et de poussières. Il faut aussi former les travailleurs sur les systèmes de ventilation et pour comprendre les risques associés aux produits chimiques utilisés dans le laboratoire.

### **3.6.2 Moyens actifs**

Malgré les démarches passives mis en place dans le cadre de la prévention du risque incendie, il arrive qu'un feu se déclare. Pour y faire face efficacement, il est nécessaire de disposer également de moyens actifs. Qui vise à prévenir les incendies avant qu'ils ne se produisent ou à les éteindre rapidement s'ils se déclarent.

#### **3.6.2.1 Système de sécurité incendie**

Au cœur de ces moyens, on trouve les systèmes de sécurité incendie (SSI). Ces derniers jouent un rôle très important puisque les informations délivrées par des détecteurs automatiques ou des déclencheurs manuels d'alarme leur sont transmises. Un SSI correspond à un ensemble de matériels servant à collecter les informations, à les traiter et à effectuer la mise en sécurité d'un bâtiment ou d'un établissement. Cette dernière peut comporter des fonctions telles que l'évacuation des personnes (signal d'évacuation, déverrouillage des issues, etc...), le désenfumage, l'extinction automatique, la mise à l'arrêt de certaines installations techniques (ventilation...).

La mise en œuvre d'un système de désenfumage est nécessaire. Son objectif est d'exercer un contrôle des fumées. Deux méthodes permettent d'y arriver. La première consiste à assurer un balayage de l'espace à protéger au moyen d'un apport d'air frais et à en extraire les fumées de manière qui permette la meilleure dilution possible des gaz de combustion, ce qui réduit au maximum leurs effets nocifs. Cette méthode correspond au désenfumage naturel. Le désenfumage naturel fait appel à des dispositifs d'amenée d'air en partie basse d'un escalier, d'une circulation ou d'un local, et des dispositifs d'évacuation des fumées en partie haute.

La deuxième méthode consiste à établir une hiérarchie des pressions entre le local sinistré et les locaux adjacents de manière à réaliser un équilibre qui empêche la propagation des fumées. Cette méthode correspond au désenfumage mécanique. Le désenfumage mécanique fait appel aux mêmes principes de dispositifs que pour le désenfumage naturel sauf qu'ils sont reliés à des ventilateurs.

L'éclairage de sécurité est un autre dispositif participant à la mise en sécurité des personnes. Il assure deux fonctions : l'éclairage d'évacuation et l'éclairage d'ambiance ou d'antipanique. L'éclairage d'évacuation doit permettre à toute personne d'accéder à l'extérieur en assurant



l'éclairage des cheminements, des sorties, des indications de balisage, des obstacles et des indications de changement de direction.

### **3.7 Conclusion**

À la suite de l'audit réalisé sur les moyens de prévention mis en place pour prévenir les incendies dans le laboratoire de chimie, nous pouvons conclure :

D'une part, le laboratoire de chimie a démontré un engagement très faible et fragile en matière de prévention des incendies. Des mesures préventives non adéquates ont été mises en place, telles que l'installation d'équipements de sécurité, la sensibilisation des travailleurs aux risques et l'élaboration de procédures d'urgence. Cela témoigne de l'inconscience des dangers potentiels et de l'importance accordée à la sécurité.

D'autres part, les procédés et les activités identifiés comme étant les plus répétitifs et présentant un risque élevé d'incendie ont été clairement identifiés. Des mesures spécifiques ont été recommandés pour minimiser ces risques, notamment en mettant en place des protocoles de manipulation sécurisée, en fournissant une formation adéquate aux travailleurs et en utilisant des équipements appropriés.

Enfin, il est recommandé de continuer à surveiller et à évaluer régulièrement l'efficacité des mesures préventives mises en place. Les risques peuvent évoluer avec le temps, notamment en cas de modification des procédés, de l'introduction de nouveaux produits chimiques ou de changements dans l'environnement de travail. Il est donc essentiel de maintenir une surveillance continue et de mettre à jour les protocoles de sécurité en conséquence.



#### 4. Chapitre 04 : Simulation FDS

Le feu, en raison de sa nature violente et destructrice, a été une préoccupation sérieuse pour les scientifiques et les chercheurs, car les incendies sont fréquents dans presque tous les domaines. La complexité associée à la nature violente du feu limite la portée de la validation expérimentale des recherches liées au feu. Les accidents liés au feu peuvent survenir très fréquemment et sont à l'origine d'autant d'effets désastreux dont les causes sont très diverses. L'université est exposée à de nombreux accidents liés aux incendies, en particulier dans les laboratoires chimiques, causant de graves dommages à la vie des occupants et aux biens. Dans le contexte de l'Algérie, il n'y a pas suffisamment d'installations expérimentales pour mener des enquêtes sur les incendies et la modélisation du scénario d'incendie est donc une approche très pratique pour traiter les problèmes liés aux incendies qui permettra de prendre des mesures préventives en conséquence.

Parmi tous les types de catastrophes, le feu est l'une des catastrophes les plus courantes et les plus répandues qui menacent la sécurité des personnes et le développement social. Il y a les incendies de construction, les incendies de jungle, les incendies de véhicules, etc., mais parmi tous les types d'incendies, les incendies de construction sont les plus fréquents et causent le plus de dégâts. L'étude de la loi d'apparition et de développement des incendies et la prévision de leurs risques sont la clé pour prévenir et éteindre efficacement les incendies à temps. Dans les travaux de recherche sur la sécurité incendie, en raison du coût élevé des essais au feu et du danger certain, il est très difficile d'effectuer de véritables essais au feu. Par conséquent, l'utilisation de la simulation informatique pour analyser les problèmes d'incendie a également une certaine valeur de recherche. Le point clé du modèle informatique est d'établir un modèle d'incendie similaire au site d'incendie intérieur, de sorte que le processus de développement d'un incendie puisse être intuitivement analysé et compris, on a pris l'exemple d'un laboratoire de chimie de notre institut, avec un logiciel de simulation de fumée d'incendie pour étudier le changement de température et la répartition de la fumée lorsque l'incendie s'est déclaré, on utilise PYROSIM pour simuler la dynamique du feu des pièces et des couloirs de bloc pédagogique, pour obtenir le meilleur temps d'évacuation en testant la concentration de fumée, la concentration de CO, la température et la visibilité de différents points de mesure, et nous utilisons PATHFINDER pour évaluer et optimiser les plans d'évacuation de bâtiment concerné.

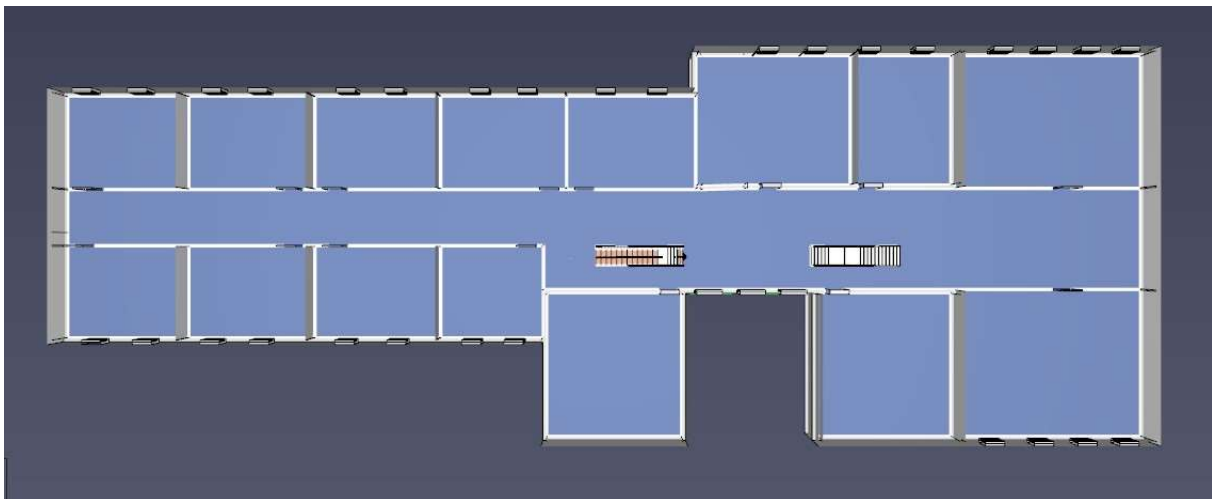
Dans cette étude, le logiciel FDS est utilisé pour étudier et analyser le processus de changement de facteurs tels que la température, la hauteur de la couche de fumée, le flux de chaleur et d'autres facteurs causés par les incendies intérieurs, pour obtenir le meilleur temps d'évacuation dans les différentes conditions de travail.

Avec le développement de la simulation numérique, plus de 20 logiciels de calcul ont vu le jour pour la simulation d'incendie et la modélisation d'évacuation, dont PyroSim, Pathfinder, STEP et Analog. Parmi eux, PyroSim est un excellent logiciel de simulation de la dynamique du feu (FDS) développé par le National Institute of Standards and Technology (NIST). Le logiciel a été largement appliqué pour simuler divers processus d'incendie et scénarios d'évacuation, rendant la recherche sur les incendies plus pratique et intuitive. Pour étudier l'évacuation en cas d'incendie, le NIST a également conçu le logiciel Pathfinder pour simuler les mouvements de personnel. Les simulations Pathfinder peuvent produire de nombreux résultats importants [30].

## 4.1 Présentation

### 4.1.1 Plan de travail: Building Model

Notre simulation va traiter la propagation du feu et fumé au sein de l'institut de maintenance et sécurité industrielle plus précisément dans le nouveau bâtiment qui occupe plus de 1500 personnes entre staff académique et étudiant. (Plan non authentique à 100 % en raison de mesures de sécurité).



**Figure 4.1** : Plan de masse simulé de l'institut IMSI

Avec une superficie de plus de 1100m<sup>2</sup>, constitué d'un bloc pédagogique et l'administration de l'institut sur deux étages et une grande bibliothèque et le hall à l'entrée avec une superficie totale estimée de plus de 3500m<sup>2</sup>



**Figure 4.2 :** Plan réel de notre de l'institut de maintenance et sécurité industrielle

#### 4.1.2 Cas d'étude

Le cas représente un feu dans laboratoire de 0.8m<sup>2</sup> situé au rez-de -chaussée de bâtiment dans un couloir de 32 m de longueur et 2m de largeur qui contient plusieurs autres laboratoires, et qui sont réparties de manière symétrique. Le laboratoire est situé au milieu de couloir.

#### 4.1.3 Les scénarios d'incendie modélisés

Les simulations ont été réalisées par la dernière version de FDS (version 6), avec une modélisation complète de la propagation du feu et fumé, de plus dans cette étude nous sommes intéressés à étudier des résultats relatifs et déterminer les comportements du public lors du déclenchement d'incendie

**Scenario 01 : un incendie se propage rapidement et de manière incontrôlée lors une présence d'une quantité importante de polyuréthane GM37.**

Si les réactions ne sont pas contrôlées, il existe un risque d'emballement thermique. L'emballement se produit lorsque la vitesse à laquelle la chaleur est évacuée augmente de façon linéaire, alors que la vitesse à laquelle la chaleur est produite augmente de façon exponentielle,

**Scenario 02 : un incendie se déclare à cause d'un court-circuit électrique et présence de gaz après une fuite non identifiée au niveau de laboratoire.**

Après les investigations des spécialistes, ils ont découvert que la source d'inflammation était une étincelle au niveau du réfrigérateur du laboratoire, et avec la présence d'une fuite de gaz, le feu s'est déclaré.

**4.2 Fire Dynamics Simulator (FDS)**

C'est le logiciel de modélisation et de simulation d'incendies le plus reconnu dans le monde créé par le National Institute of Standards and Technology (NIST) aux États-Unis est largement utilisé dans le domaine de l'ingénierie incendie pour étudier le comportement des incendies dans les bâtiments et les structures afin de prédire et d'analyser comment un feu se développera en tenant compte de facteurs tels que la propagation du feu, la production de fumées et la chaleur rayonnante la propagation et l'impact d'un incendie.

Cette méthode de modélisation est basée sur la résolution numérique des équations de conservation de la masse, la quantité de mouvement, l'énergie et d'autres propriétés physiques. Il divise l'espace en grilles tridimensionnelles et simule les processus physiques à chaque point de la grille. Le logiciel utilise aussi des modèles mathématiques basés sur des données expérimentales et des relations empiriques pour représenter les caractéristiques des incendies.

FDS prend en compte l'interaction entre l'incendie et les structures environnantes. Il est possible de simuler la propagation de la chaleur à travers les murs, les sols et les plafonds ainsi que d'évaluer l'efficacité des mesures de sécurité incendie telles que les portes coupe-feu et les systèmes d'extinction automatique avec le software. Les données publiées par FDS comprennent des informations sur la température, la concentration en espèces chimiques, la vitesse du vent, la propagation des flammes, la création de fumées, etc.

**4.3 SMOKEVIEW**

FDS est fourni avec un environnement graphique appelé Smokeview qui permet la visualisation des données de simulation des incendies développé aussi par le National Institute of Standards and Technology (NIST) aux États-Unis. Il est conçu pour être utilisé en conjonction avec le code Fire Dynamics Simulator (FDS) et permet de visualiser de manière interactive les résultats de simulation et aide l'analyse et la compréhension des données de

simulation des incendies générées par FDS. Il facilite la visualisation interactive des résultats de simulation, permettant aux ingénieurs en sécurité incendie, aux chercheurs et aux professionnels du secteur d'analyser le comportement des incendies dans les bâtiments et de prendre des décisions éclairées en matière de sécurité incendie.

#### 4.4 PYROSIM

PyroSim est un logiciel propriétaire de dynamique des fluides basé sur la simulation de grandes turbulences. Il résout les équations nécessaires à la construction de la simulation, c'est-à-dire l'équation de continuité, l'équation de quantité de mouvement, l'équation de conservation de l'énergie et l'équation de conservation des composants. Ce logiciel est une interface utilisateur graphique de Fire Dynamic Simulator, précédemment développée par NIST. Le software peut être utilisé pour construire un modèle afin de prédire la fumée, la température, le monoxyde de carbone et d'autres substances importantes dans un phénomène d'incendie. C'est un simulateur d'incendie puissant et un outil informatique de dynamique des fluides, pour un écoulement induit par un incendie à faible vitesse, résout un ensemble d'équations de Navier-Stokes en mettant l'accent sur le transport de la chaleur et de la fumée d'un incendie. Les interfaces FDS et SmokeView sont étroitement intégrées à PyroSim. L'interface PyroSim fournit un retour d'information rapide, tout en garantissant le format correct pour le fichier d'entrée FDS. De plus, PyroSim offre des fonctionnalités de création de géométrie 2D et 3D de haut niveau qui aident à créer des modèles de construction réalistes avec toutes sortes d'obstacles, de murs et d'autres fonctionnalités [28].

##### 4.4.1 Les avantages de PyroSim

L'interface PyroSim fournit un retour d'information immédiat et garantit le format correct du fichier d'entrée FDS. Quelques faits saillants incluent :

- Importez des fichiers CAO pour créer et gérer des modèles complexes.
- Outils de dessin de géométrie 2D et 3D de haut niveau.
- Traitement parallèle intégré.
- Système d'unités flexible prenant en charge le travail en unités métriques ou anglaises.
- Outils pour gérer plusieurs maillages.
- Traductions multilingues.
- Systèmes HVAC (chauffage, ventilation et climatisation) intégrés à la simulation CFD.

- Importation de modèles FDS existants.
- Post-traitement intégré.

En résumé, PyroSim vous aide à construire rapidement et de manière fiable des modèles d'incendie complexes.

#### 4.4.2 Méthodologie de simulation

La simulation avec Fire Dynamics Simulator (FDS) suit généralement une méthodologie générale qui peut être divisée en plusieurs étapes, nous avons utilisé la démarche suivante pour atteindre notre but :

**Création de la géométrie du plan** : y compris les murs, les planchers, les ouvertures, les objets, etc. et pour clarifier le model est importé vers PyroSim après le dessin avec un software extérieur **AUTOCAD** en format CAD

**Attribution des propriétés des matériaux** : définir les propriétés thermiques et physiques appropriées aux différents matériaux présents dans le modèle.

**Précision de la réaction** : ajouter la réaction utilisée pour l'analyse après la base de données qui contient des références pour la source des données.

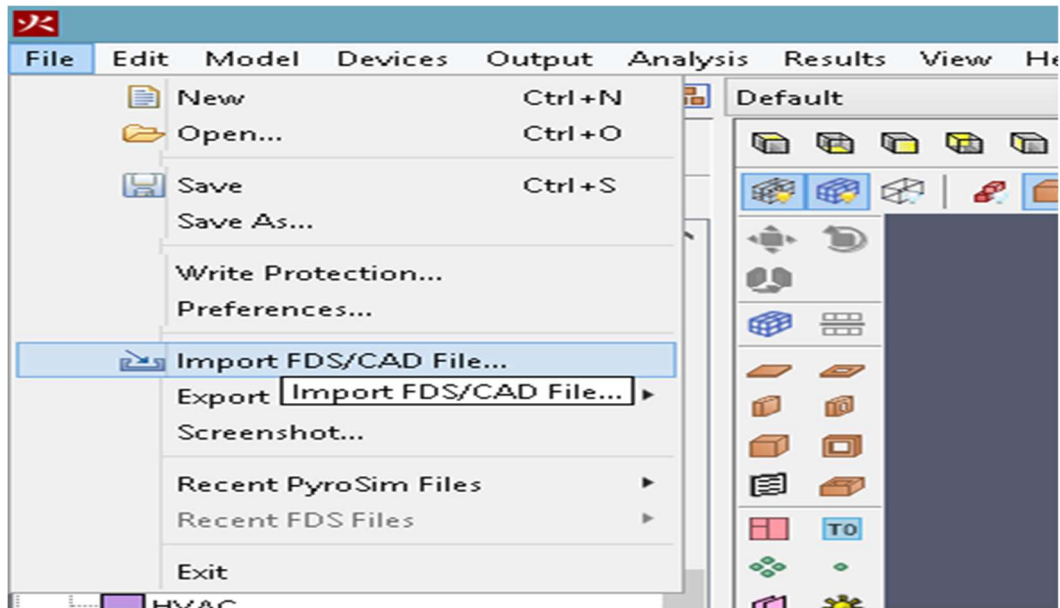
**Définition des paramètres** : création et définition les données nécessaires de la surface de la brulure (the Burner surface), les événements, mailles (Meshs) et les coupes(slices).

**Lancement de la simulation** : l'ajoute des autres paramètres FDS tels que le temps et frames.

#### 4.4.3 Application de modélisation

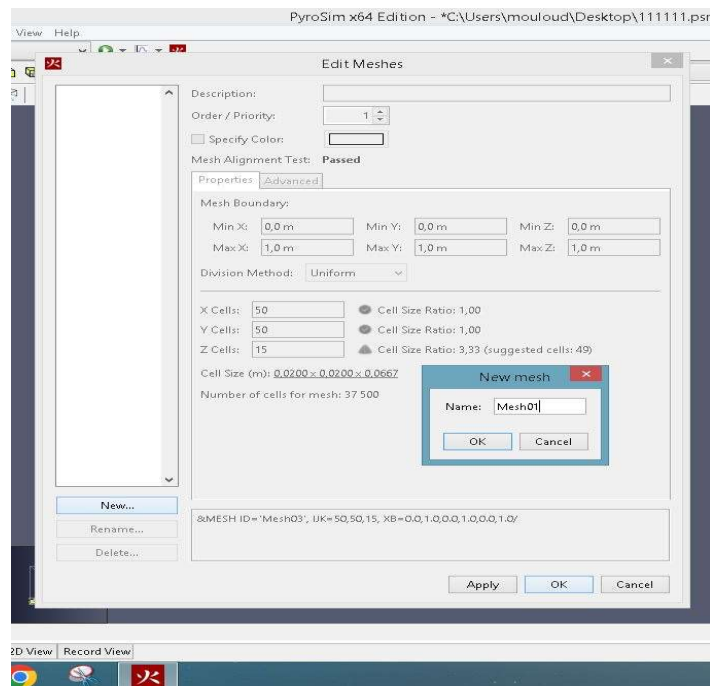
**Étape 01** : Importation du fichier CAD : PyroSim prend en charge différents formats de fichiers CAD, tels que les fichiers DXF, DWG, OBJ, etc. nous avons importé notre modèle architectural dans PyroSim en utilisant l'option d'importation de fichier appropriée.





**Figure 4.3 :** Importer le fichier de plan

**Etape 02 :** Création de maillages (meshes) : Une fois le fichier CAD importé, nous créons les maillages pour représenter les surfaces de notre modèle. PyroSim vous permet de créer automatiquement des maillages à partir de votre modèle CAD ou de définir manuellement des maillages sur les surfaces pertinentes.



**Figure 4.4 :** Création de maillage

**Etape 03 :** Définition des réactions : on a spécifié la réaction au feu qui peut inclure la modélisation de la combustion, de la pyrolyse, des gaz produits, etc. Vous pouvez définir les propriétés des matériaux combustibles et non combustibles pour une représentation précise des réactions.

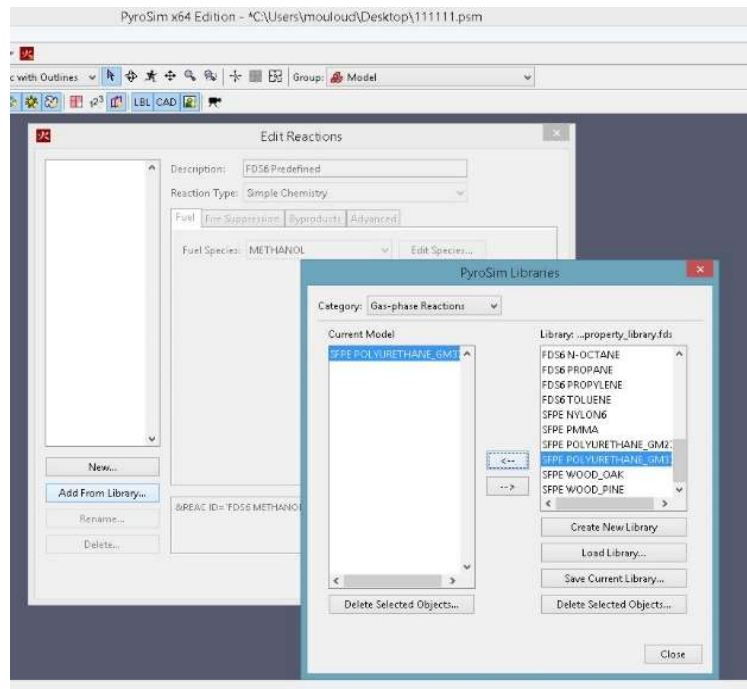


Figure 4.5 : Création de la réaction

**Etape 04** : Définition des surfaces : Dans PyroSim, vous devez définir les propriétés des surfaces, telles que les matériaux, les conditions de réaction au feu, les facteurs d'émissivité, etc. Cela permet au modèle de prendre en compte les interactions thermiques appropriées lors de la simulation de l'incendie.

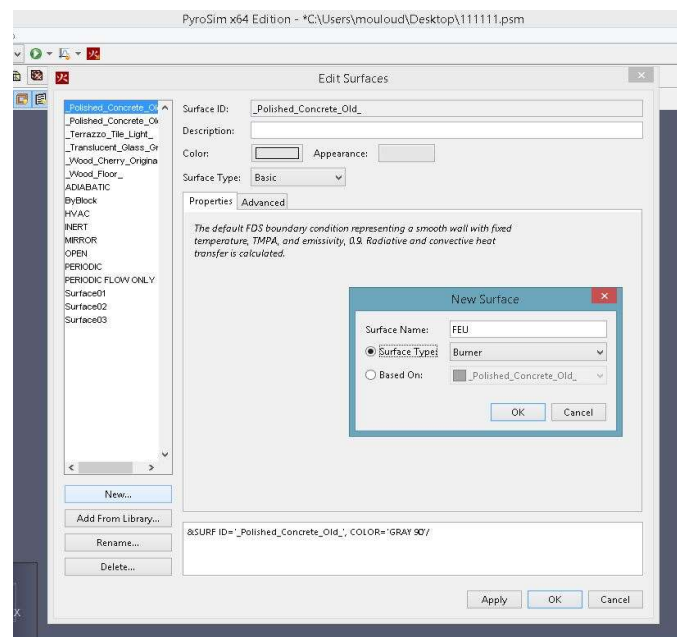


Figure 4.6 : Les paramètres de la surface

**Etape 05** : Création de coupes (slices) : Les coupes sont des sections à travers le modèle où vous pouvez observer les résultats de la simulation, tels que les températures, les concentrations de fumée, etc. Vous pouvez créer des coupes dans différentes orientations et positions pour analyser les effets de l'incendie dans votre modèle.

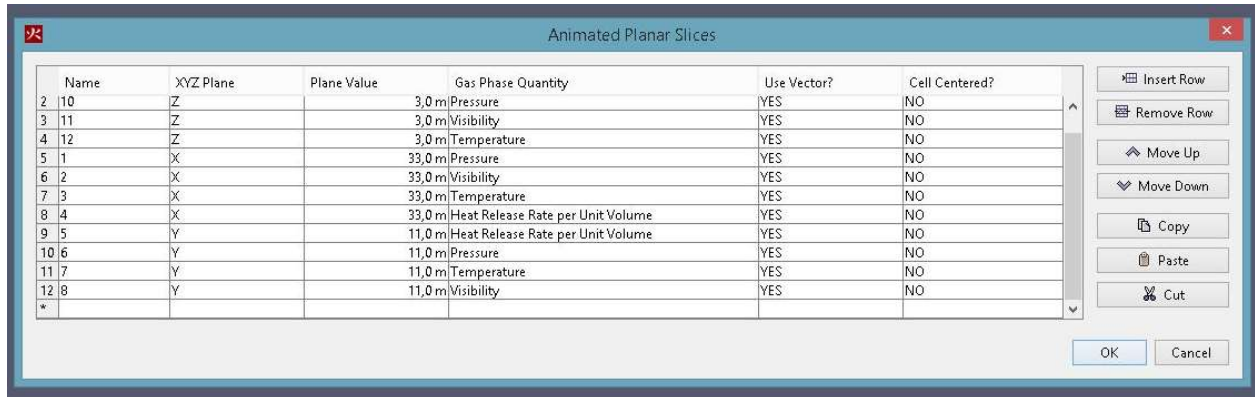


Figure 4.7 : Les coupes utilisées

**Etape 06** : ajuster les paramètres de Vent

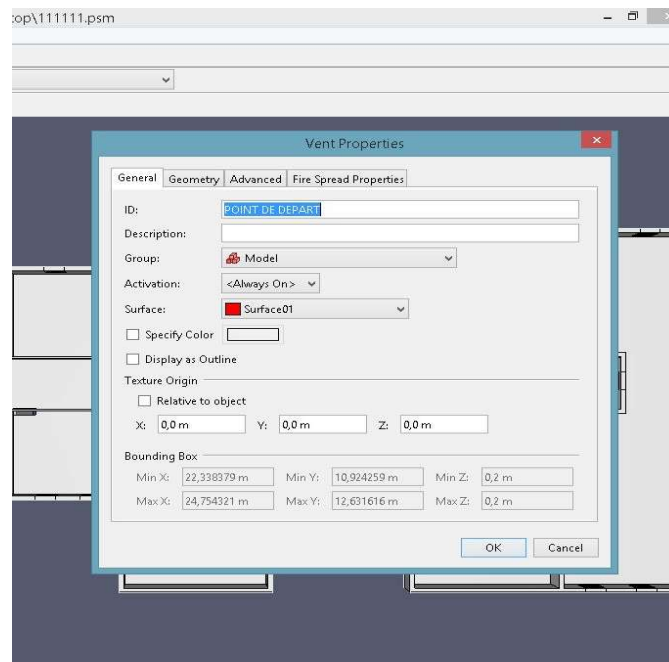


Figure 4.8 : Les paramètres de vent

**Etape 07** : Définissez les paramètres de la simulation : Cliquez sur l'icône "Simulation Parameters" (Paramètres de simulation) dans la barre d'outils. Vous pouvez régler des paramètres tels que la durée de la simulation, le pas de temps, etc.

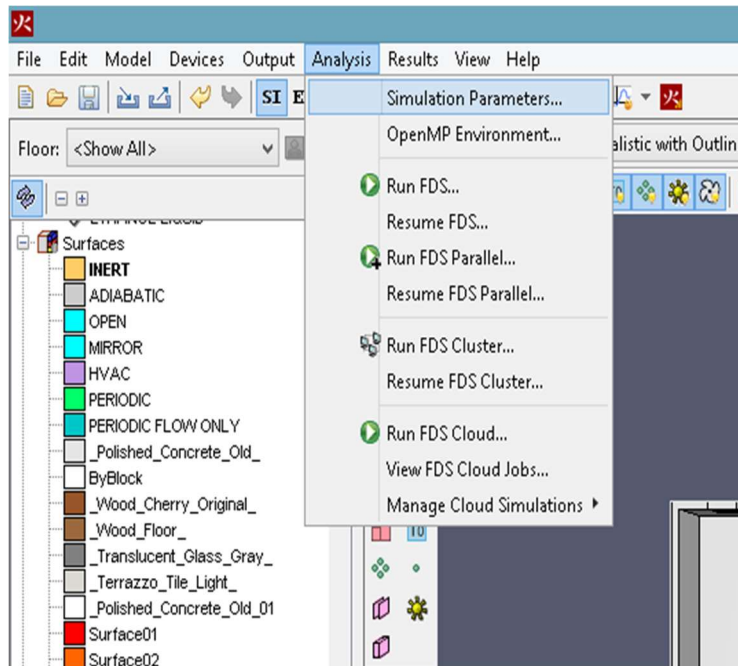


Figure 4.9 : Modifications des paramètres de la simulation

Etape 08 : on a choisi un temps de 300 s qui représente le temps pour l'arrivée de la protection civil.

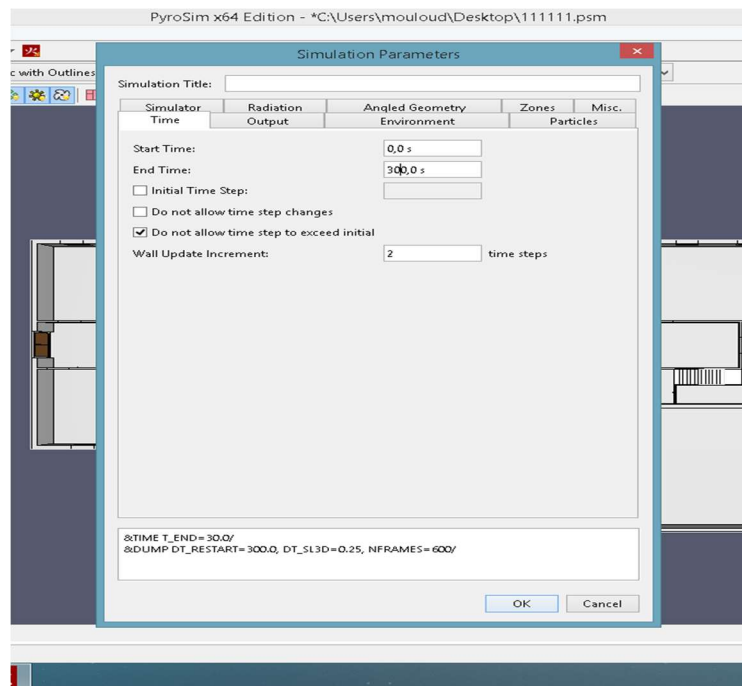


Figure 4.10 : Les paramètres de la simulation

Etape 09 : Vérifiez et sauvegardez votre projet : Avant de lancer la simulation, assurez-vous que toutes les configurations sont correctes. Ensuite, enregistrez votre projet en cliquant sur "File" (Fichier) dans la barre de menu, puis sélectionnez "Save" (Enregistrer).

**Étape 10** : Exécutez la simulation : Cliquez sur l'icône "Run Simulation" (Exécuter la simulation) dans la barre d'outils. La simulation commencera à s'exécuter et vous pourrez voir la progression dans la fenêtre principale de PyroSim.

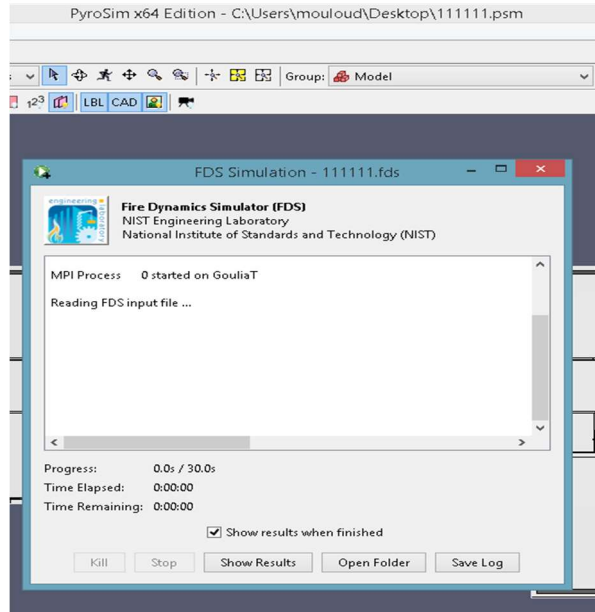


Figure 4.11 : Démarrage de la simulation

**Étape 11** : Analyse des résultats : Après la simulation, PyroSim nous fournira des résultats tels que les températures, les concentrations de fumée, les vitesses de gaz, etc, l'analyser de ces résultats permettre d'évaluer les effets de l'incendie, l'efficacité des systèmes de ventilation, etc.

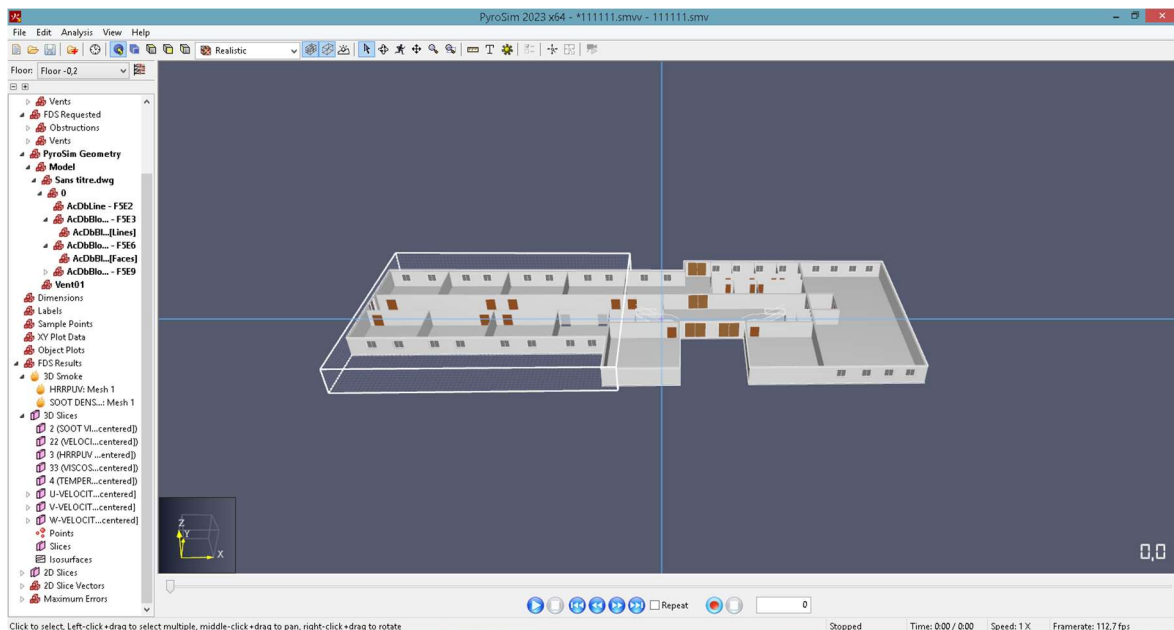
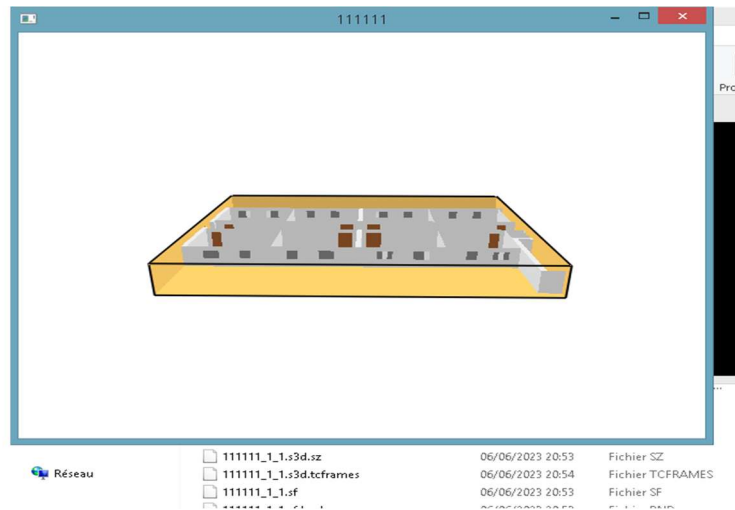


Figure 4.12 : Résultats de PyroSim

**Étape 12** : l'analyse des résultats par SmokeView**Figure 4.13** : Résultats de SmokeView**4.5 Pathfinder**

Pathfinder est un logiciel de simulation d'évacuation développé par Thunderhead Engineering qui est utilisé afin d'analyser et évaluer la sécurité des bâtiments en simulant le comportement des personnes lors d'une situation d'évacuation d'urgence, il permet de créer des modèles virtuels représentant les bâtiments et les espaces, et de modéliser le mouvement des personnes pour comprendre comment elles réagissent, se déplacent et évacuent en cas d'incendie, les chercheurs et les spécialistes utilisent ce logiciel dans divers domaines, tels que la conception de nouveaux bâtiments( les bâtiments commerciaux, les hôpitaux, les stades, les centres commerciaux, etc., pour évaluer la sécurité et optimiser les plans d'évacuation, par les experts en sécurité pour évaluer la sécurité des bâtiments existants, identifier les problèmes potentiels et recommander des améliorations pour renforcer la sécurité et par les services d'incendie et de secours pour simuler des scénarios d'évacuation et planifier des interventions en cas d'urgence, en optimisant les opérations de secours et en réduisant les risques.

Aussi Pathfinder présente plusieurs avantages :

**Économie de temps et de coûts** : Il permet de tester virtuellement différents scénarios d'évacuation sans avoir à réaliser des tests réels, ce qui réduit les coûts et le temps nécessaire pour évaluer la sécurité.

**Évaluation précise** : Le logiciel utilise des modèles basés sur des données empiriques et des comportements humains réalistes pour fournir une évaluation précise de la dynamique de l'évacuation (les temps d'évacuation, les congestions, les temps de sortie, etc.).

**Analyse détaillée :** Pathfinder fournit des données détaillées sur le déplacement des personnes, les densités, les vitesses, les temps d'évacuation, etc., ce qui permet d'identifier les zones à risque, les goulets d'étranglement et les problèmes de sécurité potentiels.

**Prise de décision éclairée :** Les résultats de la simulation aident les concepteurs, les ingénieurs et les responsables de la sécurité à prendre des décisions éclairées pour améliorer les plans d'évacuation, la conception des bâtiments et les procédures de sécurité.

La capacité de fournir des informations précieuses pour améliorer la sécurité des bâtiments et la gestion des urgences. Et la rapidité de la prise de décision basée sur les données, la prévision des scénarios d'évacuation, l'amélioration des plans de sécurité et la réduction des risques. Il représente une valeur ajoutée dans le domaine de la lutte contre les incendies [29].

#### 4.5.1 Méthodologie de simulation

La simulation à l'aide du programme Pathfinder est presque la même que les étapes de simulation à l'aide du programme PyroSim, car elles sont développées par la même société et sont la même interface, il n'y a donc eu aucune difficulté à mener cette simulation et à en obtenir des résultats, et peut-être les étapes les plus importantes que nous avons traversées sont les suivantes :

**Création du modèle :** c'est l'importation des plans du bâtiment dans le logiciel.

**Les attributs des occupants :** détermination des profils des occupants tels que les vitesses de marche, les comportements d'évacuation, les temps de réaction et spécification des densités d'occupation pour différentes zones du bâtiment, en tenant compte des heures de pointe, des espaces de rassemblement.

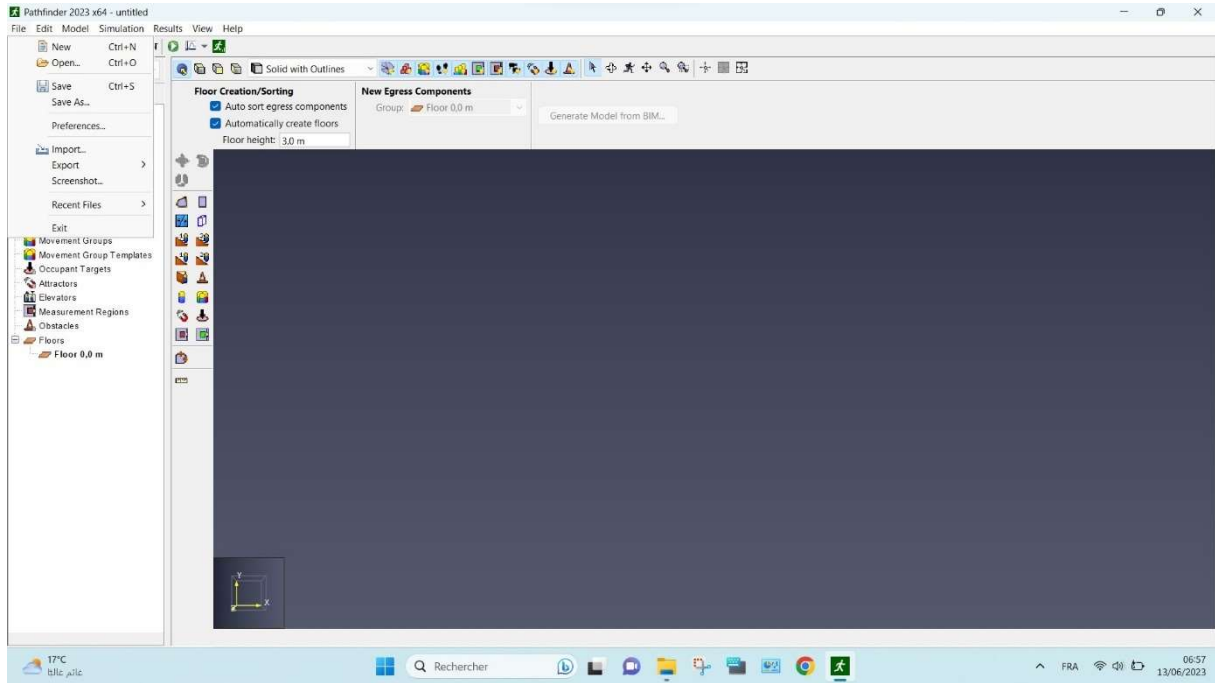
**L'ajout des paramètres de simulation :** Configuration des paramètres spécifiques du scénario d'évacuation, tels que la durée de l'incident, l'emplacement initial des occupants, les conditions environnementales, les modèles de comportement des occupants appropriés en fonction du scénario d'évacuation.

**Les résultats recherchés :** les mesures que nous souhaitons collecter pendant la simulation, telles que les temps d'évacuation, les densités d'occupation, les vitesses de flux.

**Exécution de la simulation :** configuration du modèle et des attributs avant le lancement de la simulation et laissez le logiciel effectuer les calculs qui dépendent de temps prédéfinis et la performance de notre ordinateur.

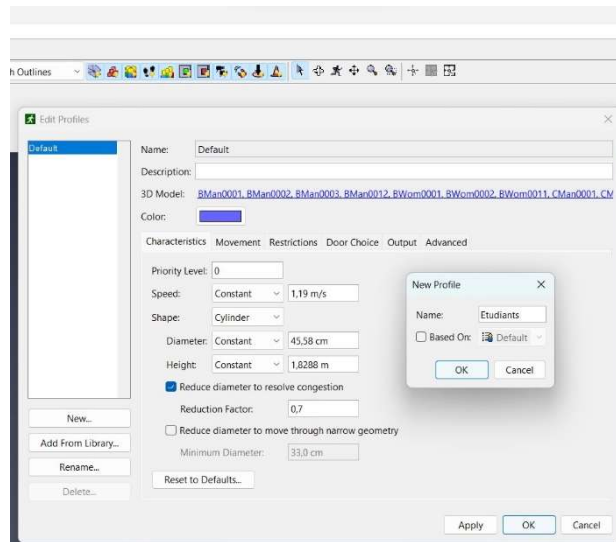
### 4.5.2 Application de la simulation

**Etape 01** : Importation du modèle : Pathfinder prend en charge différents formats de fichiers de modélisation, tels que les fichiers DXF, DWG, OBJ, etc. Vous pouvez importer votre modèle architectural dans Pathfinder en utilisant l'option d'importation appropriée.



**Figure 4.14** : Importation du modèle

**Etape 02** : Création de profils (profiles) : Les profils représentent les caractéristiques des occupants, tels que leur vitesse de déplacement, leur taille, leur groupe d'âge, etc. Vous pouvez définir des profils personnalisés pour différents types d'occupants dans votre modèle.



**Figure 4.15** : Création des profils



**Etape 03 :** Définition des comportements (behaviors) : Les comportements décrivent les actions et les réactions des occupants dans différentes situations. Vous pouvez définir des comportements tels que l'évitement d'obstacles, la recherche d'une sortie, l'évitement des foules, etc. Ces comportements influencent le mouvement des occupants dans la simulation.



**Figure 4.16 :** Définition des comportements

**Etape 04 :** Extraction des pièces (rooms) : Une fois le modèle importé, vous devez extraire les pièces ou les zones dans lesquelles vous souhaitez simuler le mouvement des occupants. Les pièces peuvent représenter des salles, des couloirs ou d'autres zones d'intérêt dans votre modèle.



**Figure 4.17 :** Extraction des pièces

**Etape 05 :** Définition des sorties (exits) : Vous devez définir les sorties ou les points de sortie de chaque pièce. Les sorties sont des emplacements où les occupants peuvent quitter la pièce en cas d'évacuation. Vous pouvez spécifier des sorties de différentes tailles et capacités, en fonction de vos besoins de simulation.

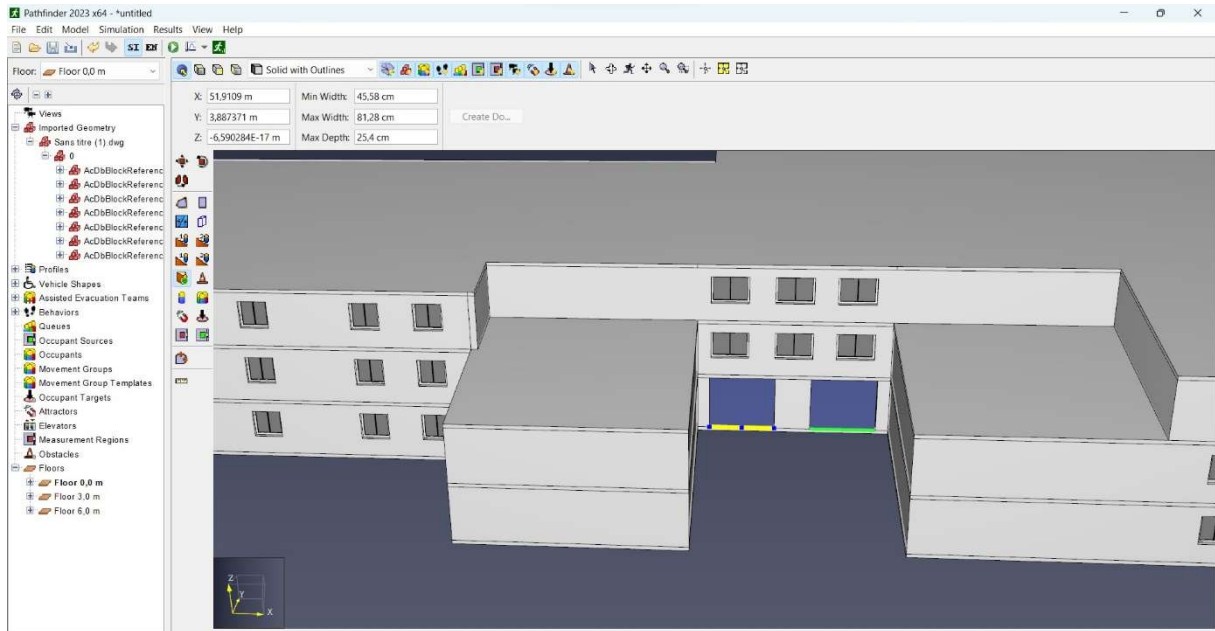


Figure 4.18 : Définition des sorties

**Etape 06 :** Placement des occupants : Vous pouvez placer les occupants dans les pièces de votre modèle en utilisant les profils définis précédemment. Vous pouvez spécifier le nombre d'occupants, leur position initiale, leur destination, etc.

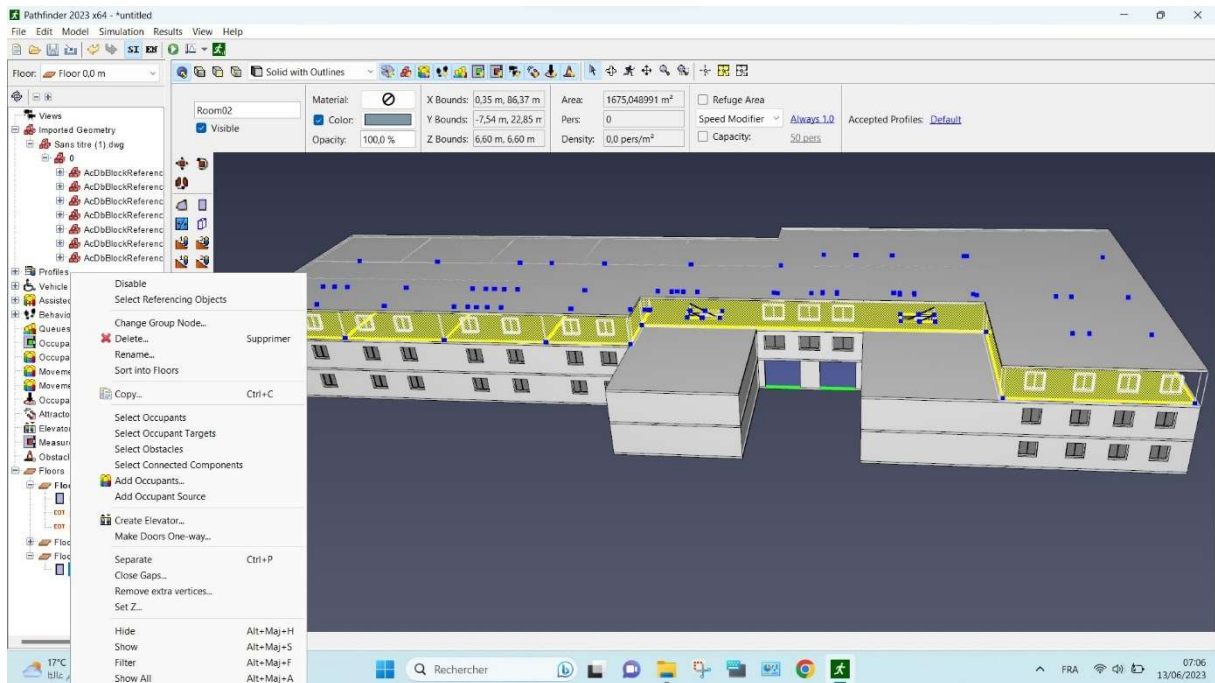
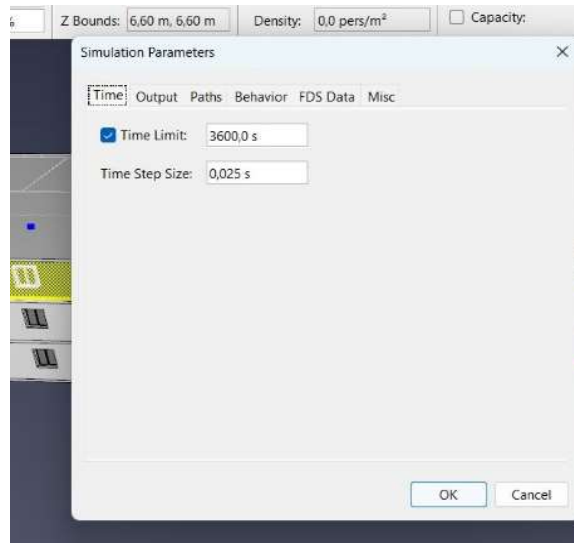


Figure 4.19 : Placement des occupants

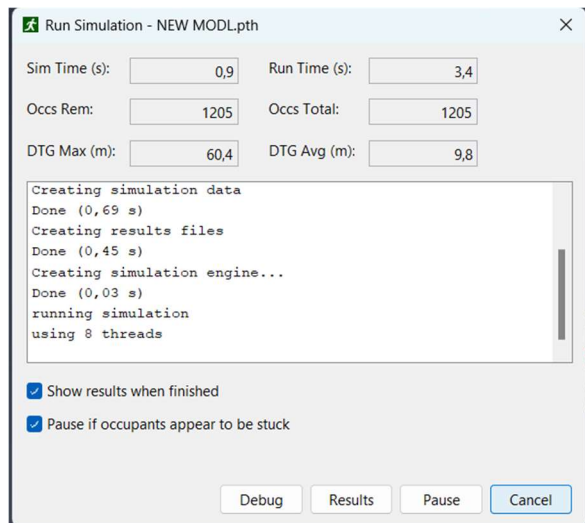
**Etape 07 :** Configuration des paramètres de simulation : Avant de lancer la simulation, vous devez configurer les paramètres de simulation tels que la durée de la simulation, la résolution

temporelle, les conditions initiales, etc. Vous pouvez également spécifier les sorties souhaitées, telles que les trajectoires des occupants, les temps d'évacuation, les densités de foule, etc.



**Figure 4.20 :** Configuration des paramètres de simulation

**Étape 08 :** Lancement de la simulation : Une fois toutes les étapes précédentes terminées, vous pouvez lancer la simulation dans Pathfinder. Le logiciel utilisera des modèles de mouvement de foule pour simuler le déplacement des occupants dans votre modèle.



**Figure 4.21 :** Lancement de la simulation

Après la simulation, Pathfinder vous fournira des résultats tels que les temps d'évacuation, les trajectoires des occupants, les densités de foule, etc. Vous pouvez analyser ces résultats pour évaluer la sécurité et l'efficacité des itinéraires d'évacuation, la capacité des sorties, etc.

### 4.5.3 Les résultats de chaque scenario

#### 4.5.3.1 Scenario 01

Début de l'incendie



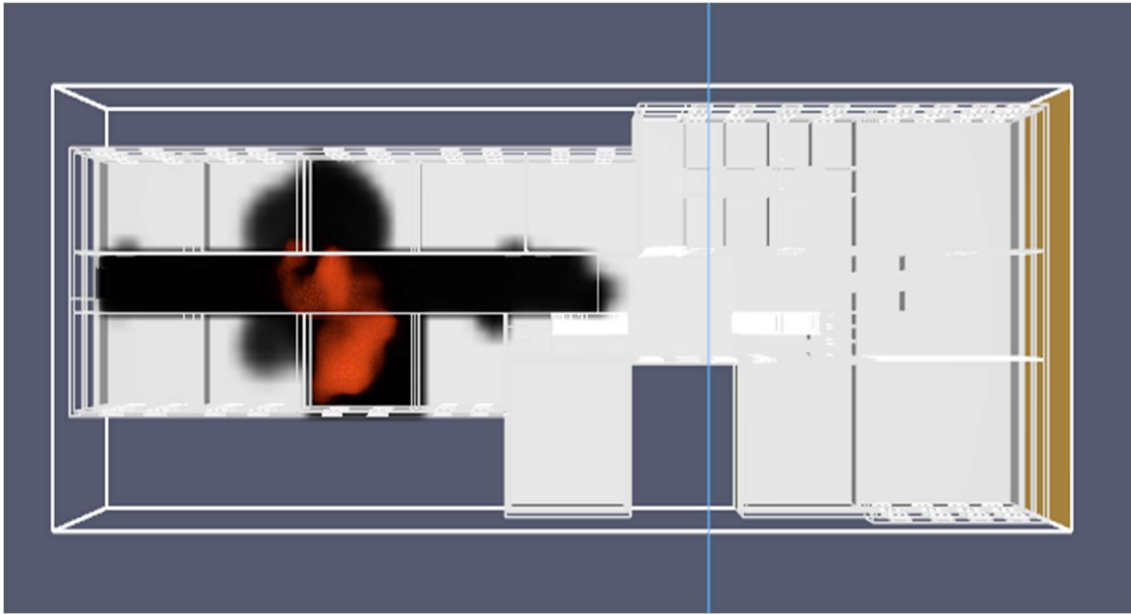
Figure 4.22 : Début de l'incendie

La propagation du feu et du fumée vers le couloir après 5s



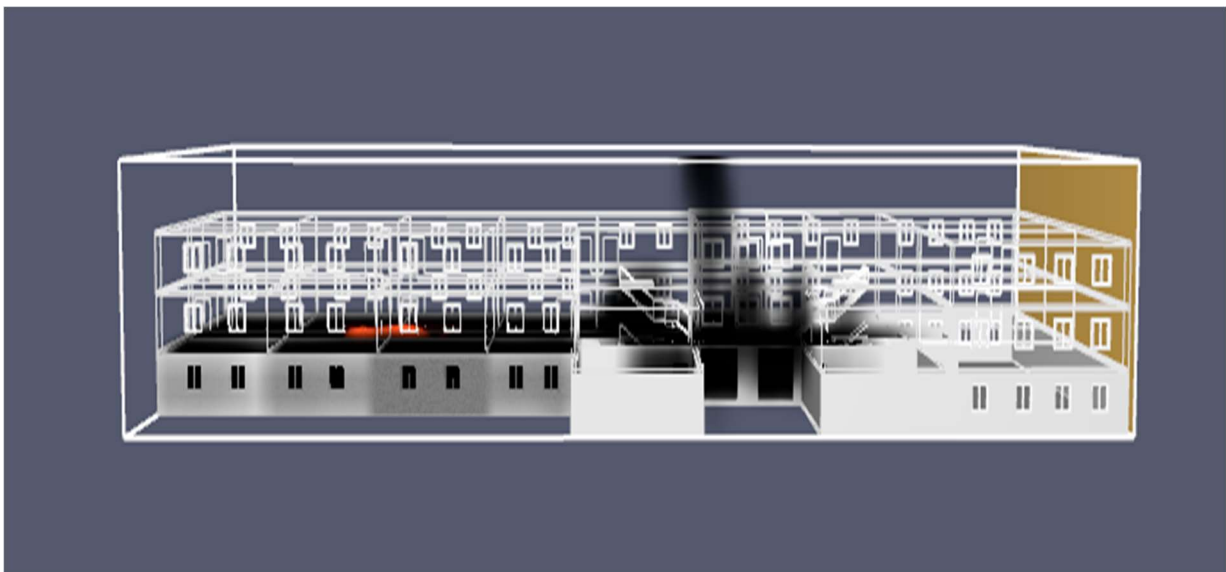
Figure 4.23 : Début de développement a  $t= 5s$

La propagation du feu et du fumée vers le hall



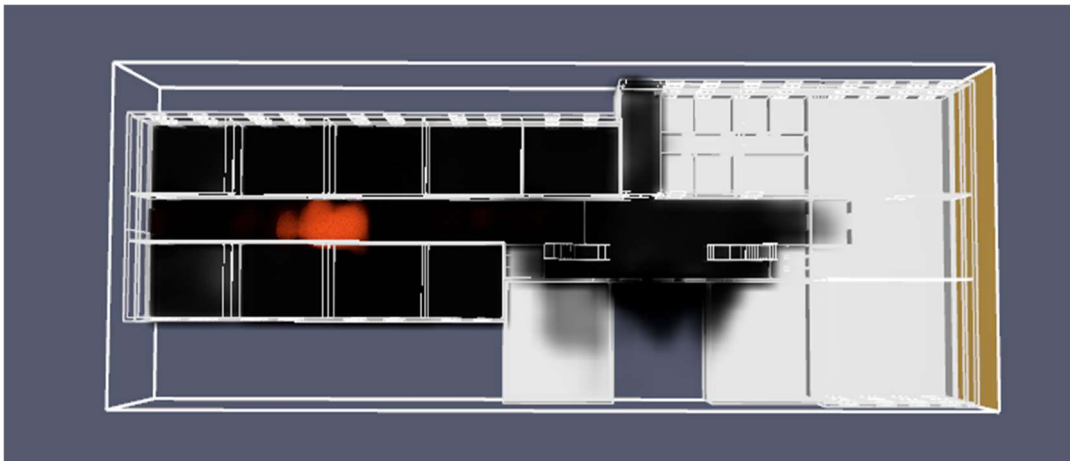
**Figure 4.24** : Développement a  $t= 11s$

La propagation de la fumée vers l'extérieur supérieur du bâtiment



**Figure 4.25** : Développement a  $t= 40s$

La propagation de la fumée vers l'autre coté du bâtiment



**Figure 4.26** : Développement a  $t= 50s$

La propagation de la fumée après une minute



**Figure 4.27** : Développement a  $t= 60s$

La propagation de la fumée après deux minutes



**Figure 4.28** : Développement a  $t= 120s$

La propagation de la fumée après cinq minutes

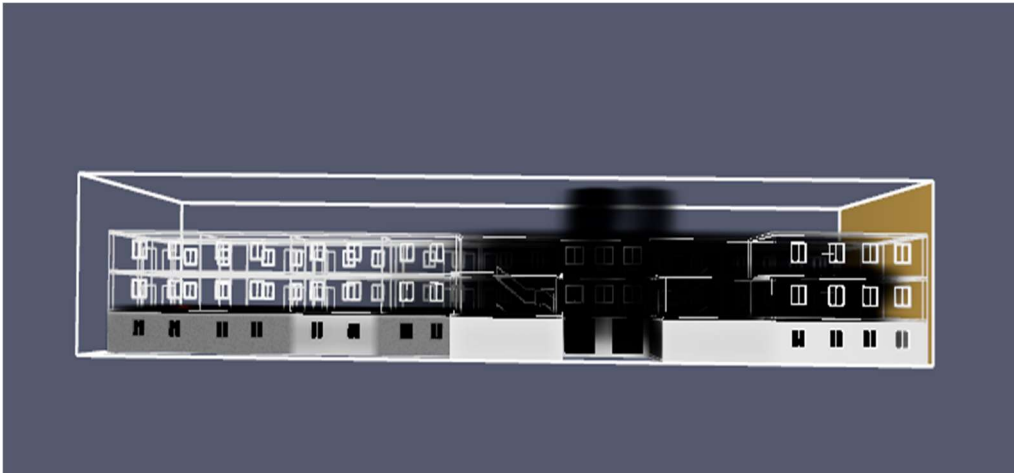


Figure 4.29 : Développement a  $t= 300s$

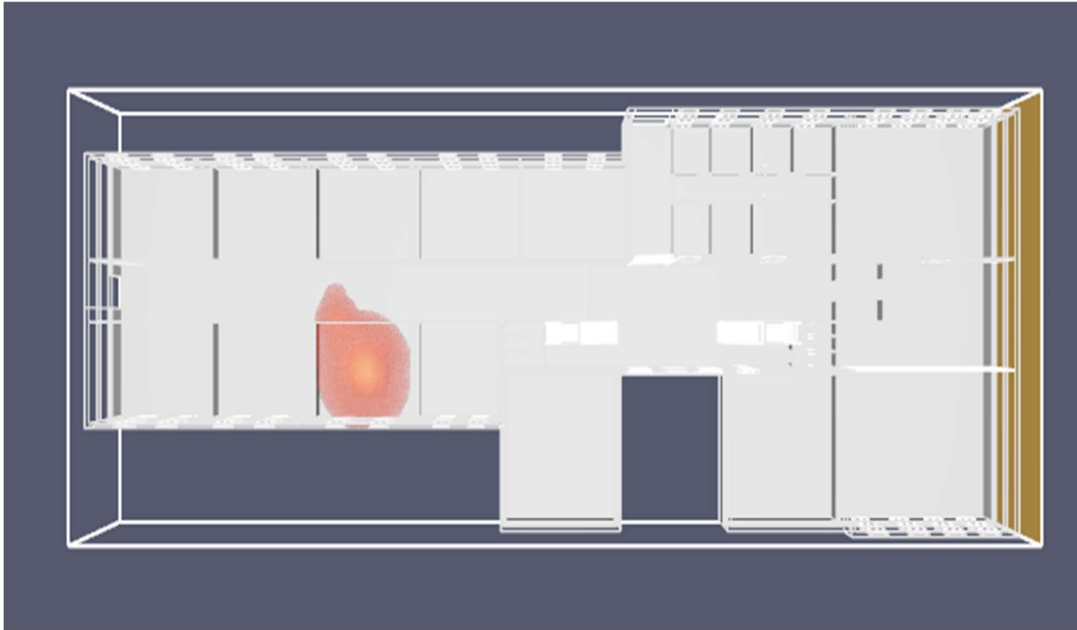
#### 4.5.3.2 Scenario 02

Début de l'incendie



Figure 4.30 : Début de l'incendie

Début de la propagation du feu



**Figure 4.31** : La propagation du feu a  $t=3s$

La propagation du feu vers le couloir



**Figure 4.32** : La propagation du feu a  $t=30s$

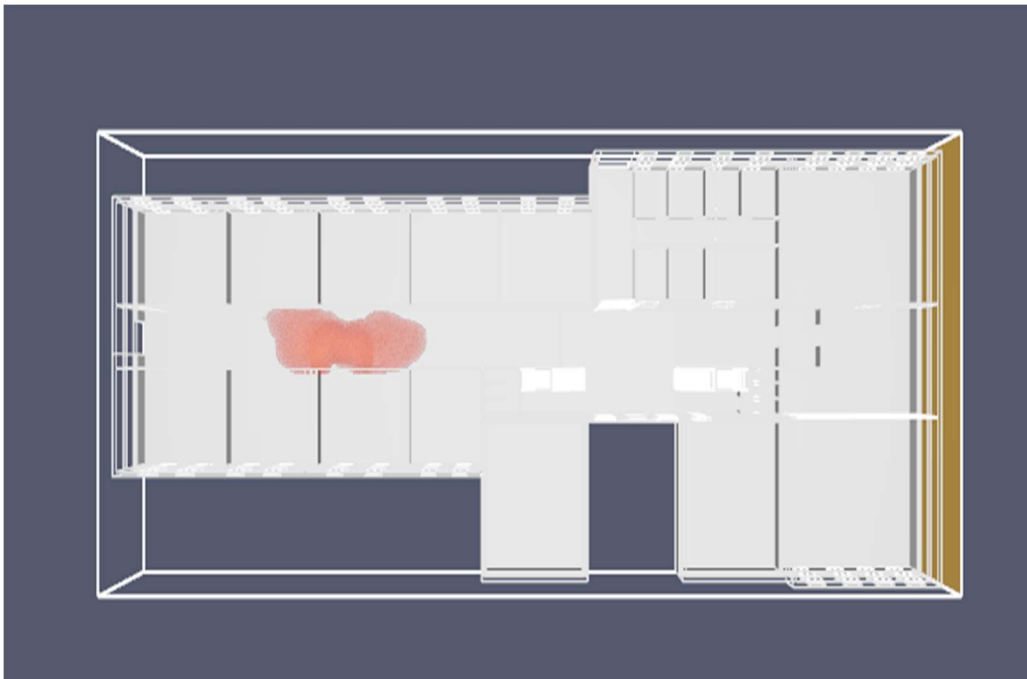


Le développement de l'incendie après 40s



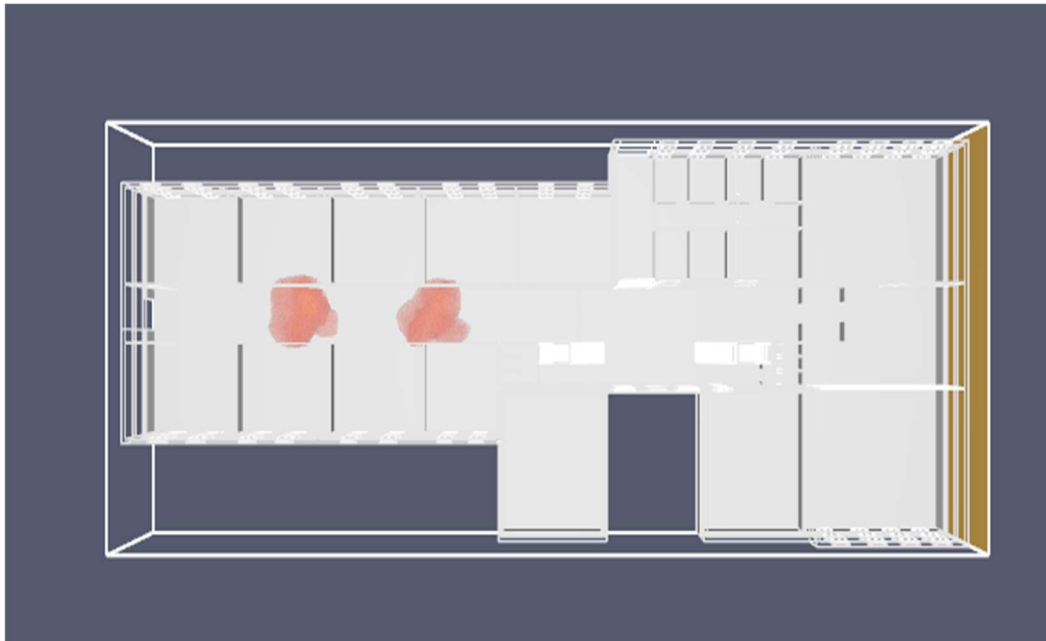
**Figure 4.33** : La propagation du feu a t=40s

Le développement de l'incendie vers le couloir



**Figure 4.34** : La propagation du feu a t=82s

Le développement de l'incendie après 300s

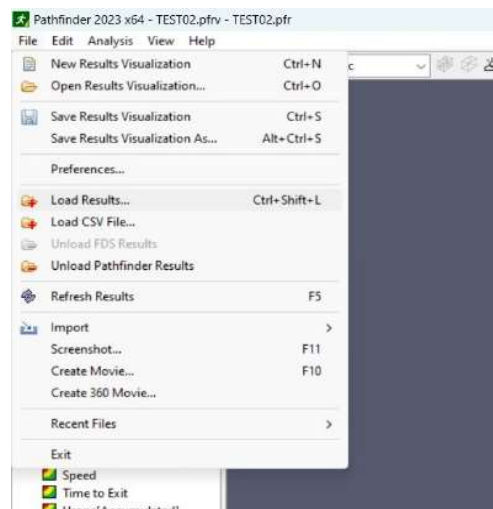


**Figure 4.35** : La propagation du feu a  $t=300s$

Pour la synchronisation des résultats de deuxième scenario les résultats obtenus sont les même car on a le même immeuble et les mems profiles, comportements.

#### 4.5.3.3 Synchronisation des résultats

Une fois la simulation terminée dans Pathfinder, nous pouvons importer les résultats pertinents dans PyroSim



**Figure 4.36** : Importation des résultats obtenu par PyroSim a Pathfinder

La nouvelle interface et lancement de la synchronisation

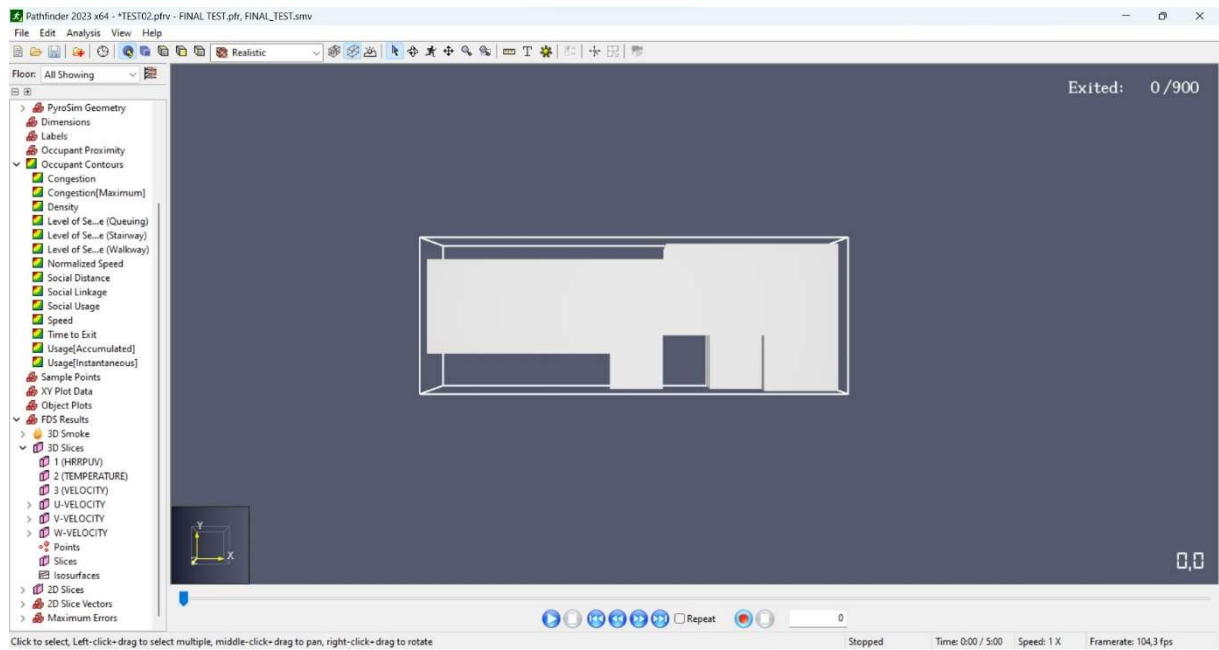


Figure 4.37 : Début de la simulation synchronisée

Temps nécessaire pour évacuer 100 occupants

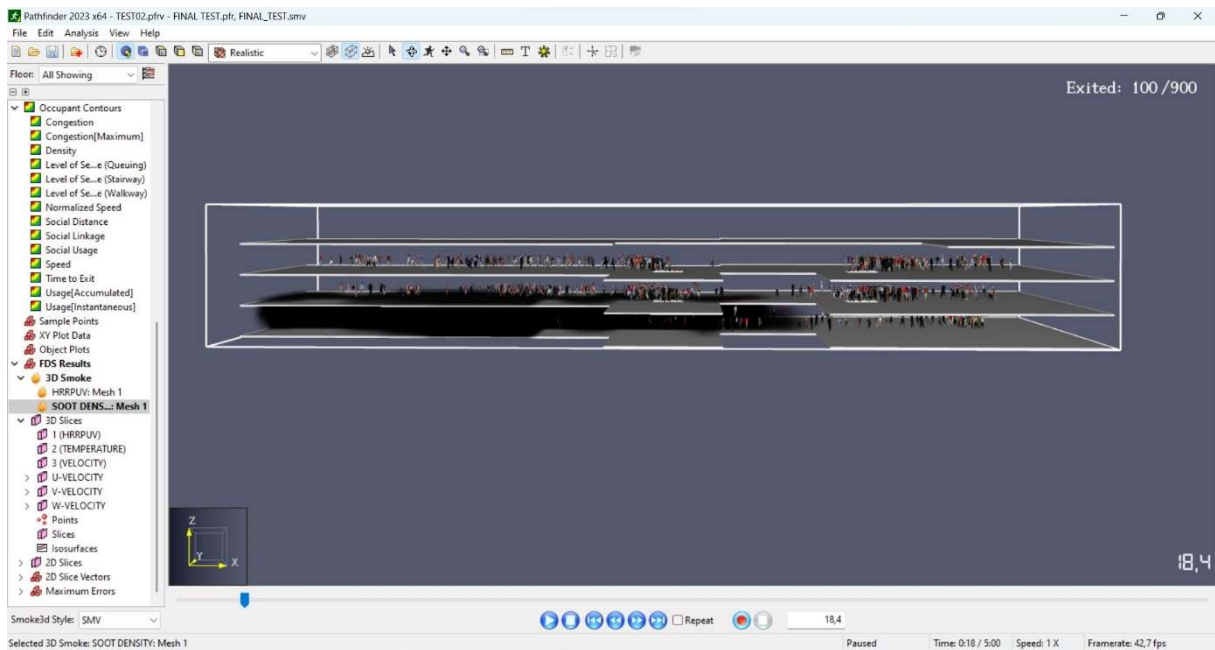


Figure 4.38 : L'évacuation de 100 occupants

Temps nécessaire pour évacuer 50% des occupants

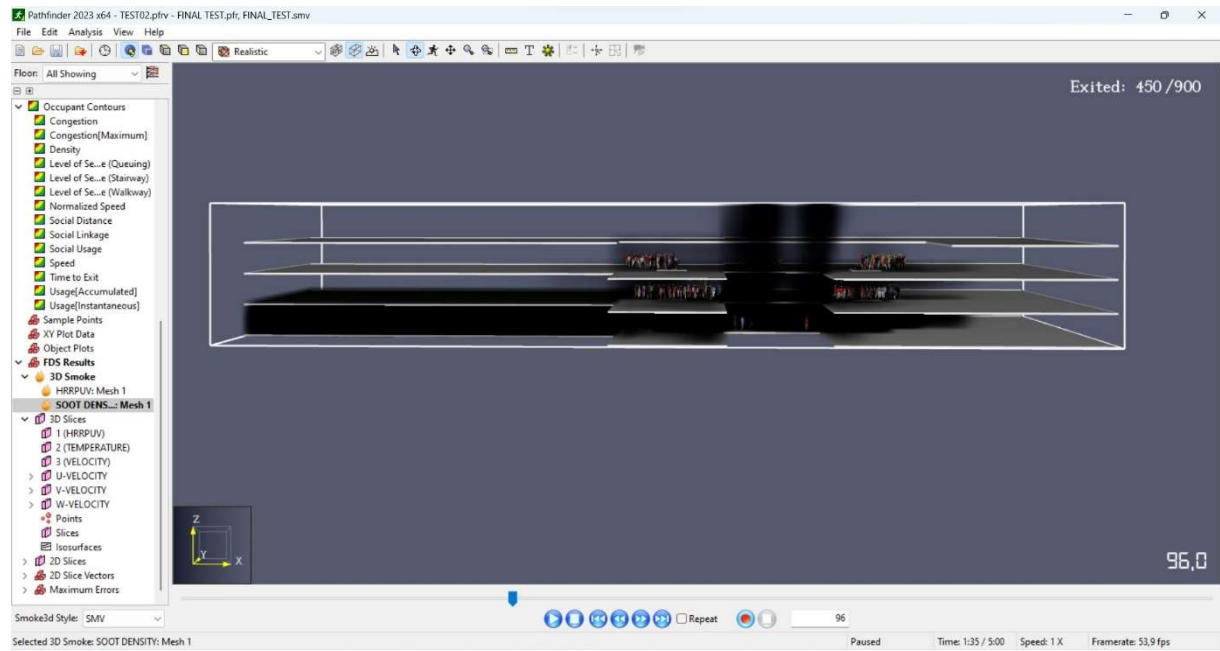


Figure 4.39 : L'évacuation de 450 occupants

L'état de l'évacuation après 5 minutes

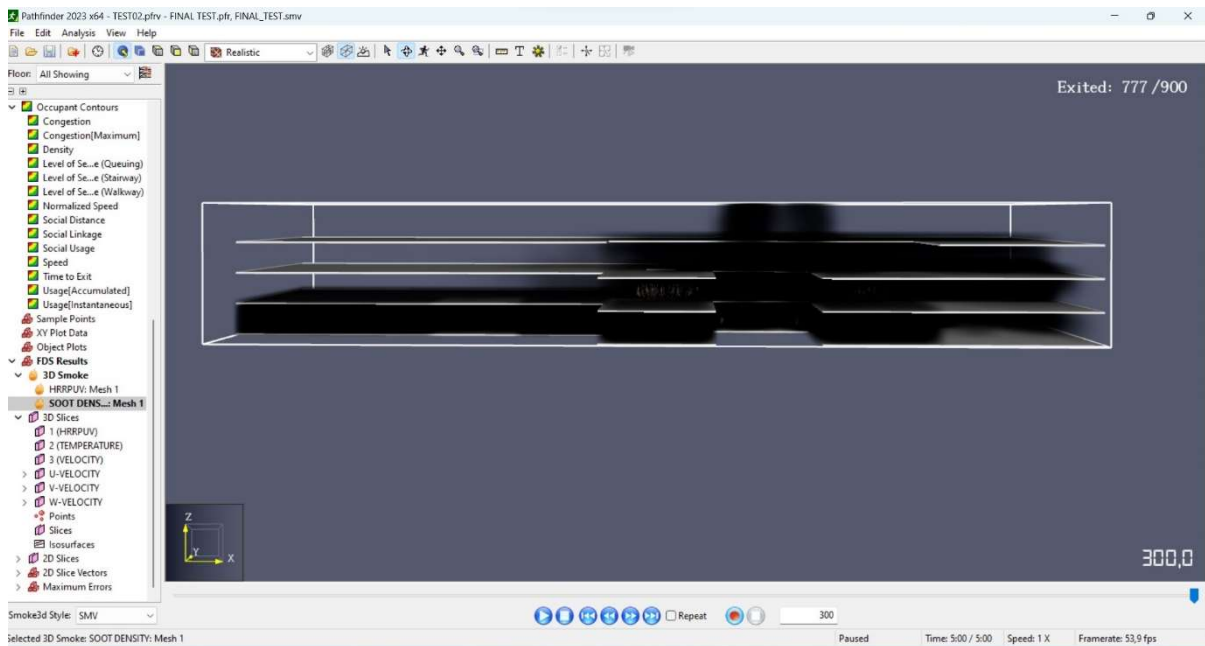


Figure 4.40 : L'évacuation après 300 secondes

## 4.6 Discussion et analyse des résultats obtenus

### 4.6.1 Scenario 01

Les matériaux de polyuréthane, tels que le GM37, contiennent des composés organiques volatils (COV) et des additifs ignifuges. Lorsqu'ils sont exposés à des températures élevées, ces composés se décomposent et génèrent une grande quantité de gaz combustibles et de produits de combustion. Les COV peuvent également être des précurseurs de la fumée. Ainsi, la combustion du polyuréthane GM37 produit une fumée dense.

D'une part, la vitesse de propagation de la fumée dépend de plusieurs facteurs, notamment de la ventilation du bâtiment. Dans un laboratoire de chimie, la ventilation peut être limitée ou contrôlée pour des raisons de sécurité. Cela signifie que la fumée produite par la combustion du polyuréthane GM37 peut s'accumuler rapidement, entraînant une propagation rapide dans l'espace confiné.

De plus, la fumée chaude a tendance à s'élever en raison de la différence de densité par rapport à l'air ambiant. Cette convection thermique favorise la propagation verticale de la fumée dans un immeuble universitaire, en passant par les ouvertures, les escaliers, les conduits de ventilation et les zones de circulation verticale.

D'autre part, la fumée générée par la combustion du polyuréthane GM37 peut être toxique et irritante. Elle peut contenir des gaz tels que le monoxyde de carbone (CO), les composés d'azote et de soufre, les particules fines et d'autres produits de combustion nocifs. L'inhalation de ces substances peut entraîner des problèmes respiratoires, des irritations des voies respiratoires, des brûlures pulmonaires et d'autres complications de santé. De plus, la réduction de la visibilité due à la fumée peut entraver la capacité des occupants à trouver rapidement les sorties de secours et à évacuer en toute sécurité.

Ensuite, plusieurs facteurs contribuent à la propagation de la fumée dans un immeuble universitaire. La configuration du bâtiment, notamment la présence de passages ouverts, de conduits de ventilation interconnectés, d'escaliers, etc., peut faciliter la circulation de la fumée d'une zone à l'autre. Les ouvertures, telles que les portes non étanches, les fissures, les fenêtres ou les passages entre les pièces, permettent également à la fumée de se propager.

En plus, les courants d'air naturels ou induits par la ventilation peuvent transporter la fumée dans les espaces adjacents. Par exemple, si une porte est ouverte ou si des fenêtres sont

brisées, la fumée peut être aspirée par l'effet de tirage ou poussée par la pression différentielle, se propageant ainsi à travers le bâtiment.

En résumé, la combustion du polyuréthane GM37 produit une quantité importante de fumée en raison des caractéristiques de combustion des matériaux. La fumée se propage rapidement dans un espace confiné en raison de la ventilation limitée et de la convection thermique. Cela peut avoir des conséquences néfastes sur les occupants en réduisant la visibilité, en compromettant la sécurité et en exposant les personnes à des substances toxiques. La propagation de la fumée est justifiée par la configuration du bâtiment, la présence d'ouvertures et les courants d'air.

#### 4.6.2 Scenario 02

L'éthane est un gaz hydrocarboné à deux atomes de carbone ( $C_2H_6$ ) qui brûle avec une flamme bleu clair lorsqu'il est exposé à une source d'inflammation, telle qu'une étincelle ou une flamme. Lors de la combustion de l'éthane, il réagit avec l'oxygène de l'air pour former principalement du dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) et de l'eau ( $H_2O$ ). Ces produits de combustion sont gazeux et transparents, ce qui signifie qu'ils ne génèrent pas de fumée visible.

L'éthane brûle rapidement en présence d'une source d'inflammation, et sa flamme est généralement caractérisée par une température élevée et une absence de particules solides en suspension. Cela explique pourquoi la quantité de fumée produite est nulle dans notre cas.

Si la fuite d'éthane et le court-circuit électrique sont les seules sources de combustible dans le laboratoire, cela signifie qu'il y a une quantité limitée de matières combustibles disponibles pour soutenir une propagation continue du feu. Lorsque le combustible est limité, le feu peut s'éteindre rapidement ou se maintenir à un niveau très localisé, dans cette situation, une fois que la source d'ignition, telle que le court-circuit électrique, a été éliminée ou maîtrisée, il se peut que le feu ne puisse pas trouver suffisamment de combustible pour se propager davantage. Cela peut être dû à l'absence d'autres matériaux inflammables dans le laboratoire ou à leur confinement dans des zones isolées.

Cependant, il est important de noter que même si le feu ne se propage pas rapidement, la présence de flammes et de chaleur intense peut toujours présenter un danger pour les occupants du laboratoire. Il est essentiel que les procédures d'évacuation appropriées soient

suivies et que les mesures de sécurité soient mises en place pour protéger la santé et la sécurité de toutes les personnes concernées.

#### **4.6.3 L'évacuation**

Une mauvaise évacuation lorsqu'un incendie se déclare en raison du manque de sorties de secours dans un immeuble est une situation très préoccupante et potentiellement dangereuse. Lorsqu'il n'y a pas suffisamment de sorties de secours disponibles, cela peut entraîner des retards et des obstructions lors de l'évacuation, mettant ainsi en danger la vie des occupants.

Dans de ce cas, il est important de souligner l'importance d'une planification et d'une conception adéquates des bâtiments pour garantir la sécurité des occupants en cas d'urgence. Les codes de construction et les réglementations en matière de sécurité incendie exigent généralement un nombre minimum de sorties de secours, leur positionnement stratégique et leur accessibilité facile.

Notre institut ne dispose pas d'un nombre suffisant de sorties de secours, cela peut entraîner une congestion et des blocages lors de l'évacuation, limitant ainsi la capacité des occupants à quitter rapidement et en toute sécurité le bâtiment. Cela augmente considérablement le risque de blessures, d'asphyxie, voire de décès en cas d'incendie.

#### **4.6.4 Simulation d'évacuation s'il existe des sorties de secours**

Sur cette simulation on va voir le rôle et le but des sorties de secours et qui nous aidions à évaluer la sécurité et l'efficacité d'un plan d'évacuation en cas d'urgence, même lorsque des sorties de secours sont disponibles. Bien que l'existence de sorties de secours soit essentielle, il est tout aussi important de comprendre comment les occupants se déplaceront dans l'espace, comment ils réagiront et comment les sorties de secours seront utilisées pendant une situation d'urgence réelle.

Elle permet également de visualiser et de modéliser le comportement des occupants, les flux de déplacement, les temps d'évacuation et d'autres facteurs clés dans un environnement virtuel. Cela aide à identifier les éventuels problèmes de congestion, les goulets d'étranglement, les zones à risque élevé et les améliorations potentielles du plan d'évacuation.

Le nouveau plan avec les issues de secours à l'extérieur du bâtiments qui facilite la sortie en toute sécurité des occupants on évitons le feu et la fumée qu'ils propagent

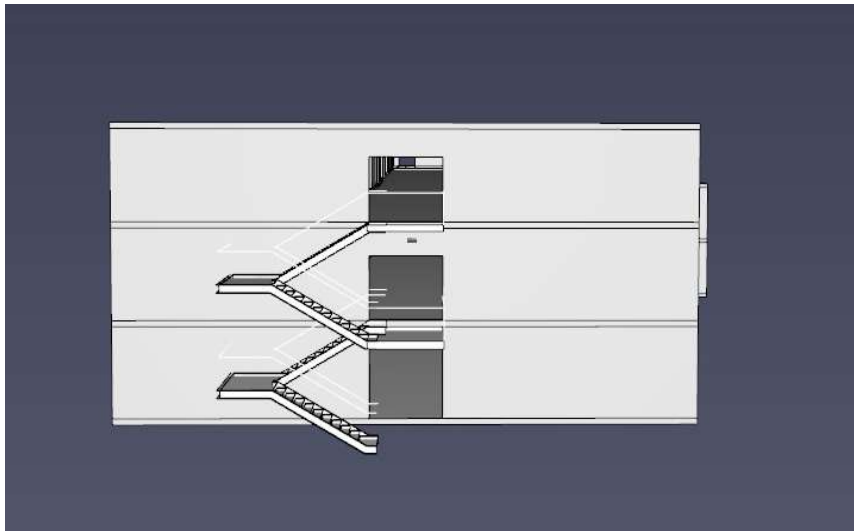


Figure 4.41 : Emplacement des sorties de secours

Le temps pour évacuer les premiers 100 occupants

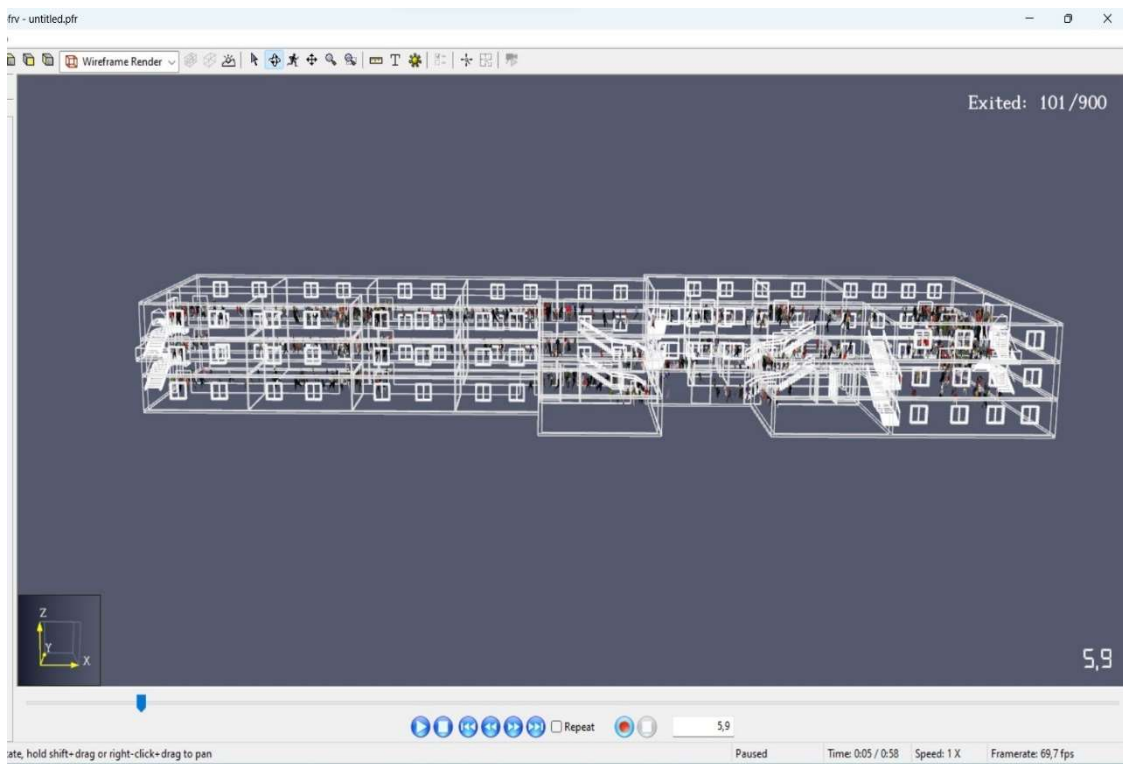
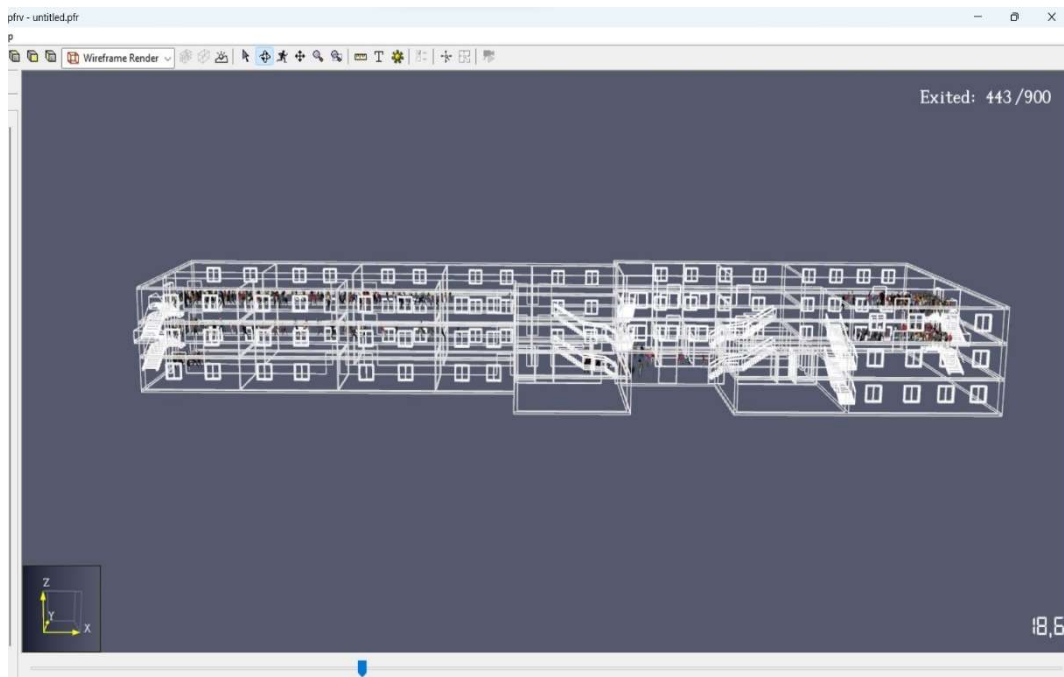


Figure 4.42 : L'état de l'évacuation des occupants a  $t=5.9s$

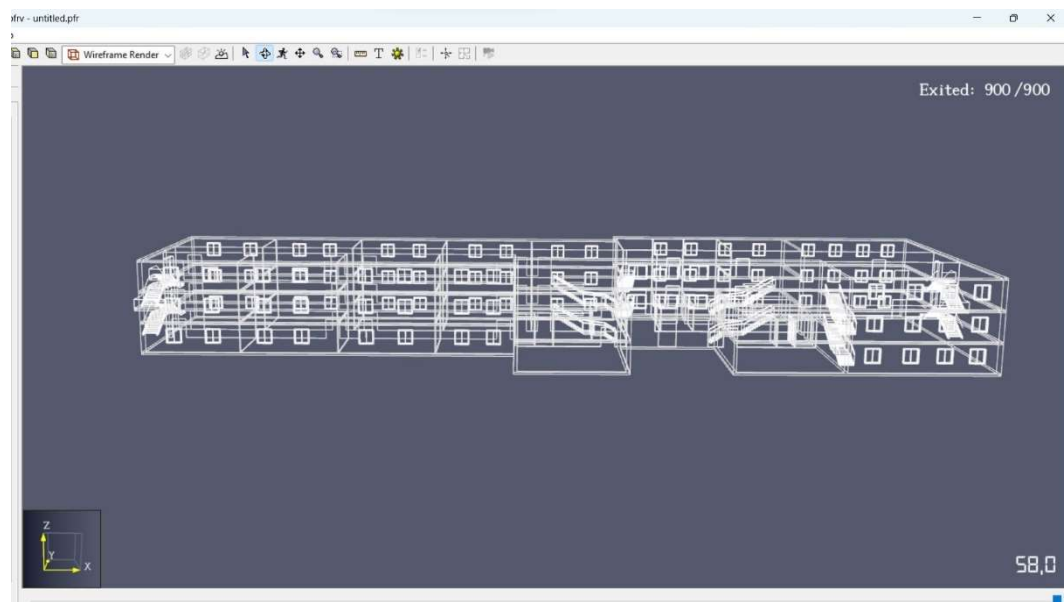


Le temps pour évacuer les premiers 50% des occupants



**Figure 4.43** : L'état de l'évacuation des occupants a t=18.6s

Le temps pour évacuer tous les occupants



**Figure 4.44** : L'état de l'évacuation des occupants a t=58s

#### 4.7 Conclusion

En conclusion, la simulation de la propagation du feu et de la fumée du polyuréthane GM37 et de l'éthane, ainsi que l'évacuation des occupants lors d'un incendie dans un laboratoire, permet de mieux comprendre les risques associés à ces situations d'urgence. Voici les principaux points à retenir :

- **Propagation du feu et de la fumée** : La simulation permet de visualiser et d'analyser la propagation du feu et de la fumée dans le laboratoire. Pour le polyuréthane GM37, la simulation peut montrer comment le matériau brûle et génère de la fumée en raison de ses propriétés chimiques. Pour l'éthane, la simulation peut mettre en évidence la combustion rapide et la production de chaleur intense. Ces informations aident à évaluer les risques potentiels pour les occupants et à prendre des mesures préventives appropriées.
- **Impact sur les occupants** : La simulation permet également de prendre en compte les effets de la propagation du feu et de la fumée sur les occupants du laboratoire. En tenant compte des itinéraires d'évacuation, des obstacles potentiels et des conditions d'air ambiant, la simulation peut évaluer la vitesse à laquelle les occupants peuvent quitter le laboratoire et les zones où ils pourraient être exposés à des niveaux élevés de fumée ou de chaleur. Ces informations sont essentielles pour optimiser les mesures de sécurité et minimiser les risques pour les occupants.
- **Évacuation des occupants** : La simulation d'évacuation permet de modéliser le comportement des occupants lors de l'incendie et de l'évaluation de la manière dont ils se déplacent vers les sorties de secours. Cela permet de repérer les problèmes potentiels tels que les obstructions, les embouteillages ou les chemins d'évacuation inefficaces, ce qui peut conduire à une mauvaise évacuation. Ces informations aident à identifier les améliorations nécessaires pour garantir une évacuation rapide et sûre des occupants du laboratoire.

En résumé, la simulation de la propagation du feu et de la fumée, ainsi que l'évacuation des occupants lors d'un incendie dans un laboratoire, permet d'évaluer les risques, de prendre des mesures préventives adéquates et d'optimiser les procédures d'évacuation. Cela contribue à assurer la sécurité des occupants et à minimiser les conséquences potentiellement graves des incendies.

## 5. Chapitre 05 : Système de protection développé

Comme ça été démontré auparavant, si un incendie se déclenche dans le laboratoire de chimie, il est difficile et presque impossible de le contrôler après 3s au maximum donc notre but est de minimiser les dégâts et gérer l'immeuble pour évacuer les occupants en cas d'incendie, les solutions proposées consistent à limiter la propagation du feu et l'intervention rapide avec des outils et systèmes intelligents afin d'assurer l'efficacité, la rapidité, la fiabilité et la bonne gestion.

Donc notre proposition qui est basée sur les résultats précédents, les analyses faites le retour d'expérience est un système intelligent qui combine "Dual Digital Technology" pour protéger les laboratoires, ce système offre des avantages significatifs en termes de prévention et de minimisation des incidents. Ces technologies permettent de modéliser, de simuler, de surveiller en temps réel, d'optimiser les plans d'urgence et de renforcer la sensibilisation du personnel, contribuant ainsi à assurer la sécurité et la protection des actifs sur tout avec les développements de Data Science, IoT (Internet des objets) et Ai (intelligence artificielle).

Actuellement, les sciences des données et de l'intelligence artificielle représentent une importance dans de nombreux domaines de la recherche scientifique, et nous avons donc vu que nous pouvons en bénéficier dans le domaine de la sécurité au travail par le développement d'un système intelligent instrumenté de protection, d'intervention et d'évacuation pour le bloc pédagogique de l'institut de maintenance et de sécurité industrielle surtout les laboratoires de chimie en particulier qui contiennent des produits chimiques dangereux et facilement inflammables et explosifs dont nous savons qu'ils sont justes face à tous les dangers relatifs aux manipulations de ces substances et les risques liés aux elles. Ce système est l'ensemble des sous-systèmes principaux tels que le système de gestion des produits chimiques et les systèmes de détection, d'extinction, d'alarme et d'évacuation et d'autres systèmes auxiliaires comme le système de gestion du bâtiment et système H-VAC, il repose principalement sur la détection précoce des changements de températures et de pression d'air qui peuvent causer de grands dangers plus tard s'ils se prolongent. Ainsi, des signaux importants : sonores ou lumineux, sont envoyés aux praticiens, ou ailleurs. En cas d'incendie, le gestionnaire de bâtiment ou bien le responsable a l'accès à tous les détails instantanés avec une interface simple qui regroupe toutes les données d'immeuble tels que les systèmes d'accès et les systèmes de contrôle des bâtiments, La structure simple de ce système lui permet d'être relié à

d'autres systèmes, comme dans le cas d'un sinistre ou une catastrophe qui dépasse les capacités d'établissement du système de protection civile[34].

## **5.1 Protection du laboratoire en temps réel**

Les laboratoires modernes sont confrontés à des défis de gestion, de sécurité et d'efficacité. Mais il y a de l'espoir : la technologie du « jumeau numérique » promet des solutions à ces problèmes.

### **5.1.1 Définition**

Un jumeau numérique (digital twin) est une représentation virtuelle en temps réel d'un objet, d'un système ou d'un processus physique. Il s'agit d'une version numérique d'un objet réel qui est continuellement mise à jour à l'aide de données provenant de capteurs et d'autres sources, et permet la simulation, l'optimisation, la surveillance et la prise de décisions basées sur ces données. Il offre de nombreux avantages dans divers domaines en permettant une meilleure compréhension, gestion et optimisation des objets physiques et des systèmes [31].

### **5.1.2 Principe**

Le principe de fonctionnement du jumeau numérique est de collecter des données en temps réel du système physique par le biais de capteurs, détecteurs, etc., et de les envoyer aux modèles numériques correspondants pour une mise à jour. Après analyse de ces données, il fournit des recommandations et des procédures de contrôle, et permet aux utilisateurs d'interagir avec le jumeau numérique via des interfaces de visualisation.

### **5.1.3 Les avantages des jumeaux numériques**

Les jumeaux numériques offrent de nombreux avantages aux utilisateurs. Vous en trouverez certains ci-dessous :

#### **Performances améliorées**

Les informations en temps réel et les perspectives fournies par les jumeaux numériques nous permettent d'optimiser les performances de notre équipement, de notre bâtiment ou de nos installations. Les problèmes peuvent être traités au fur et à mesure qu'ils surviennent. Les systèmes peuvent ainsi fonctionner au maximum de leurs capacités et les temps d'arrêt sont réduits.

#### **Capacités prédictives**

Les jumeaux numériques peuvent nous offrir une vue visuelle et numérique complète de notre bâtiment et de notre installation, même s'il est composé de milliers d'équipements. Des capteurs intelligents surveillent la sortie de chaque composant, signalant les problèmes ou les défauts au fur et à mesure qu'ils se produisent. Nous pouvons agir dès les premiers signes de problèmes au lieu d'attendre que l'équipement tombe complètement en panne.

### **Surveillance à distance**

La nature virtuelle des jumeaux numériques nous permettons de surveiller et de contrôler les installations à distance. La surveillance à distance permet aussi de réduire le nombre de personnes qui doivent vérifier les équipements industriels potentiellement dangereux.

### **Protection a distance**

En intégrant ces fonctionnalités tels que la surveillance continue, analyse des données, le jumeau numérique peut améliorer la réactivité, l'efficacité et la sécurité des systèmes physiques, en permettant une surveillance continue, une intervention rapide et des mesures préventives basées sur une analyse avancée des données.

#### **5.1.4 Comment cette technologie peut nous aider à renforcer notre protection ?**

La technologie du jumeau numérique offre de nouvelles opportunités passionnantes pour renforcer la protection et la sécurité des systèmes. En créant une réplique virtuelle d'un système physique réel, le jumeau numérique permet de :

**Surveillance et contrôle en temps réel** : surveiller et de contrôler les équipements et les processus en temps réel. Cela permet d'identifier rapidement les problèmes de sécurité et de prendre des mesures correctives pour éviter les incidents.

**Intervention à distance** : en utilisant le jumeau numérique, il est possible de prendre des mesures de protection à distance, ce qui réduit les risques pour les intervenants humains. Les commandes virtuelles du jumeau numérique permettent de contrôler et d'activer les mécanismes de sécurité à distance, sans exposer les personnes à des situations dangereuses.

**Simulation et optimisation** : simuler divers scénarios de sécurité et identifier les points faibles du système qui permet d'optimiser la conception du laboratoire et d'améliorer les protocoles de sécurité.

**Analyse prédictive des risques** : grâce à l'analyse des données collectées et à l'utilisation de techniques d'intelligence artificielle, le jumeau numérique peut fournir des capacités de prédiction des risques. Il peut identifier les schémas, les tendances et les facteurs de risque potentiels, permettant ainsi de prendre des mesures préventives pour renforcer la protection avant que les incidents ne se produisent.

**Maintenance prédictive** : aider à identifier les problèmes potentiels avant qu'ils ne deviennent critiques, permettant ainsi une maintenance prédictive afin de réduire les risques d'accidents et améliorer la sécurité globale du laboratoire.

**Formation et sensibilisation** : utiliser pour former le personnel aux procédures de sécurité et aux protocoles d'urgence pour améliorer la sensibilisation à la sécurité et de réduire les erreurs humaines.

**Gestion des accès et des autorisations** : s'il est intégré à des systèmes de contrôle d'accès pour gérer les autorisations et les accès au laboratoire nous nous assurons que seules les personnes autorisées ont accès aux zones sensibles et aux équipements critiques.

**Traçabilité et conformité** : assurer la traçabilité des processus et des équipements, facilitant ainsi la conformité aux réglementations et aux normes de sécurité.

**Gestion des risques** : Les jumeaux numériques permettent d'identifier et d'évaluer les risques associés à la conception et à l'exploitation du laboratoire. Cela permet de mettre en place des mesures de mitigation pour réduire les risques et améliorer la sécurité.

### 5.1.5 Comment ça marche !

Le concept de travail des jumeaux numériques (digital twins) repose sur la création d'une réplique virtuelle d'un objet, d'un processus ou d'un système réel. Cette réplique numérique est utilisée pour simuler, analyser, optimiser et surveiller les performances du système réel. Voici les principales étapes du fonctionnement d'un jumeau numérique :

**Collecte de données** : Les données sont collectées à partir de capteurs, d'instruments de mesure et d'autres sources d'information installés sur l'objet, le processus ou le système réel. Ces données peuvent inclure des informations sur l'état, la performance, l'utilisation et l'environnement.

**Modélisation** : Les données collectées sont utilisées pour créer un modèle numérique de l'objet, du processus ou du système réel. Ce modèle peut être basé sur des modèles

mathématiques, des simulations informatiques, des algorithmes d'apprentissage automatique ou d'autres techniques de modélisation.

**Synchronisation** : Le jumeau numérique est constamment mis à jour avec les données en temps réel provenant du système réel. Cela permet au jumeau numérique de refléter fidèlement l'état actuel et les performances du système réel.

**Analyse** : Les données et les modèles du jumeau numérique sont analysés pour identifier les tendances, les anomalies, les problèmes de performance et les opportunités d'amélioration. Les résultats de cette analyse peuvent être utilisés pour optimiser la conception, la maintenance et l'exploitation du système réel.

**Simulation** : Le jumeau numérique peut être utilisé pour simuler divers scénarios et conditions de fonctionnement. Cela permet de tester et d'évaluer les impacts de différentes stratégies, modifications et interventions sur les performances du système réel.

**Optimisation** : Les résultats des analyses et des simulations sont utilisés pour optimiser le système réel. Cela peut inclure des ajustements de la conception, des modifications des paramètres de fonctionnement, des mises à jour logicielles ou des interventions de maintenance.

**Surveillance et contrôle** : Le jumeau numérique peut être utilisé pour surveiller et contrôler le système réel à distance. Cela permet de détecter rapidement les problèmes, de prendre des décisions éclairées et d'intervenir en cas de besoin.

En résumé, le concept de travail des jumeaux numériques repose sur la collecte de données, la modélisation, la synchronisation, l'analyse, la simulation, l'optimisation et la surveillance des objets, des processus et des systèmes réels. Cette approche permet d'améliorer les performances, la fiabilité et l'efficacité des systèmes, tout en réduisant les coûts et les risques associés[32].

#### 5.1.6 Les nécessaires pour le jumeau numérique

En créant une réplique virtuelle du laboratoire réel, le jumeau numérique peut offrir des perspectives inédites d'amélioration des plans de flux de travail, de la prévention des risques et du fonctionnement global

**Modélisation et simulation** : La modélisation consiste à créer une représentation numérique détaillée du système physique que l'on souhaite reproduire. Cela peut impliquer la

modélisation géométrique pour capturer la forme et la structure, la modélisation des matériaux pour représenter les propriétés physiques des composants, et la modélisation des comportements physiques pour simuler les interactions et les réponses du système aux différentes conditions.

**Capteurs et acquisition de données** : Les capteurs sont utilisés pour mesurer les paramètres du système physique en temps réel. Selon le type de système, cela peut inclure des capteurs de température, de pression, de vitesse, etc. Les données collectées par les capteurs sont essentielles pour alimenter le jumeau numérique et maintenir sa correspondance avec le système physique réel, Voici certains capteurs couramment utilisés dans notre système :

**Capteurs de température** : Surveillent la température dans les locaux, les salles d'expérimentation et les équipements pour garantir des conditions optimales et détecter les variations anormales qui pourraient entraîner des risques.

**Capteurs de pression** : Mesurent la pression dans les systèmes de plomberie, les conduites de gaz ou les systèmes de ventilation pour garantir un fonctionnement sûr et efficace.

**Capteurs de gaz** : Détectent la présence de gaz potentiellement dangereux tels que les gaz inflammables, les gaz toxiques ou les gaz corrosifs qui pourraient être libérés lors d'une réaction chimique ou d'une fuite. Ils permettent de prendre des mesures préventives ou d'activer des systèmes d'évacuation en cas de détection.

**Capteurs de débit** : Mesurent le débit des fluides tels que l'eau ou les gaz dans les systèmes de plomberie, les tuyaux ou les équipements pour s'assurer que les flux sont conformes aux normes ou pour détecter les fuites.

**Capteurs de niveau** : Surveillent le niveau de liquides, par exemple dans les réservoirs de stockage, les cuves ou les bains-marie, afin d'éviter les débordements ou les conditions de fonctionnement anormales.

**Capteurs de mouvement** : Détectent les mouvements dans les zones sensibles pour des raisons de sécurité, telles que les salles de stockage des produits chimiques, pour prévenir l'accès non autorisé ou signaler les intrusions.

**Capteurs de sécurité électrique** : Surveillent les niveaux de courant, de tension ou les courts-circuits pour assurer la sécurité électrique des équipements, détecter les surcharges ou les défauts électriques potentiels.



**Capteurs de luminosité** : Mesurent l'intensité lumineuse pour réguler l'éclairage artificiel en fonction des besoins ou détecter les variations de lumière naturelle.

**Capteurs de qualité de l'air** : Surveillent la concentration de polluants tels que le CO<sub>2</sub>, les COV (composés organiques volatils), les particules fines, etc., pour maintenir une bonne qualité de l'air intérieur.

**Capteurs de mouvement** : Détectent les mouvements dans les zones non sensibles pour allumer ou éteindre automatiquement les lumières, économiser l'énergie ou activer d'autres systèmes.

**Capteurs de particules** : Détectent et mesurent la concentration de particules en suspension dans l'air, ce qui peut être important dans les laboratoires de chimie pour éviter la contamination ou pour surveiller les procédures de purification de l'air.

**Capteurs de détection de liquide** : Détectent les fuites de liquide ou les niveaux de liquide dans les réservoirs, les canalisations ou les équipements pour prévenir les déversements ou les situations dangereuses.

**Détecteurs de flamme** : Sont des dispositifs conçus pour détecter la présence de flammes dans un environnement et déclencher une alarme en cas de détection, ils utilisent des capteurs sensibles à la lumière pour détecter les caractéristiques spécifiques des flammes, telles que les radiations infrarouges (IR), ultraviolettes (UV) ou visibles. Lorsqu'une flamme est détectée, le capteur réagit en générant un signal électrique qui déclenche l'alarme.

**Détecteurs de fumée** : sont essentiels pour la détection précoce des incendies et la protection des personnes et des biens, détectant les particules de fumée dans l'air. Lorsque des particules de fumée sont présentes, elles perturbent le flux d'air à l'intérieur du détecteur, ce qui déclenche l'alarme.

**Internet des objets (IoT)** : L'IoT permet la connexion des capteurs, des dispositifs de contrôle et d'autres équipements au réseau. Cela permet la collecte et la transmission des données en temps réel depuis le système physique vers le jumeau numérique. Les dispositifs IoT jouent un rôle clé dans la collecte des données et leur intégration dans le jumeau numérique.

**Connectivité réseau** : Une infrastructure réseau solide et fiable est nécessaire pour permettre la communication bidirectionnelle entre le système physique et le jumeau numérique. Cela

implique l'établissement de connexions réseau sécurisées et à faible latence pour garantir que les données du système physique sont rapidement transmises et mises à jour dans le jumeau numérique.

**Cloud computing** : Le cloud computing fournit l'infrastructure nécessaire pour stocker et traiter de grandes quantités de données. Les jumeaux numériques nécessitent souvent une puissance de calcul élevée pour exécuter des simulations et des analyses en temps réel, et le cloud computing offre une solution flexible et évolutive.

**Réalité augmentée (RA) et réalité virtuelle (RV)** : La RA et la RV permettent aux utilisateurs d'interagir avec le jumeau numérique de manière immersive. Cela peut inclure la visualisation en 3D de l'objet ou du système, l'exploration virtuelle de ses différentes composantes et la superposition d'informations en temps réel.

**Analyse des données et intelligence artificielle** : Les données collectées à partir du système physique peuvent être volumineuses et complexes. L'analyse des données et l'intelligence artificielle sont utilisées pour extraire des informations significatives et utiles à partir de ces données. Cela peut inclure des techniques telles que l'apprentissage automatique (machine learning) pour détecter des modèles, la classification, la prédiction des comportements futurs, l'optimisation, etc.

**Interfaces de visualisation** : Les interfaces de visualisation permettent aux utilisateurs d'interagir avec le jumeau numérique et de visualiser les données de manière compréhensible. Les visualisations graphiques interactives peuvent inclure des représentations en 3D du système physique, des tableaux de bord, des graphiques, des alertes visuelles, etc. Ces interfaces facilitent la compréhension et l'analyse des données du jumeau numérique.

Combinant tous ces éléments, la technologie du jumeau numérique nous permet de créer une représentation virtuelle précise d'un système physique en temps réel. Cela nous permet d'effectuer de nombreuses applications, telles que la surveillance, l'optimisation des performances, la maintenance prédictive et la simulation de scénarios pour prendre des décisions éclairées[33].

## **5.2 Les systèmes accompagnants de jumeau numérique :**

### **5.2.1 Système de gestion de stockage des produits chimiques**

L'un des facteurs qui conduisent à un incendie dans les laboratoires de chimie c'est le stockage inapproprié et la mauvaise gestion de la quantité minimum et maximum nécessaire pour la

manipulation donc avec système d'assistance intelligent pour le stockage des produits chimiques peuvent améliorer considérablement la sécurité, l'efficacité et la conformité dans les installations manipulant des matières dangereuses à l'aide d'utilisation d'un logiciel basé sur l'IA pour :

#### **5.2.1.1 Gestion de l'inventaire**

Qui peut nous aider à connaître et accéder au temps réel à notre stock et le surveiller afin de :

- Suivre et gérer l'inventaire des produits chimiques en temps réel.
- Mise à jour automatique des niveaux de stock au fur et à mesure que des produits chimiques sont ajoutés ou supprimés.
- Surveillance des dates d'expiration et assurer l'élimination appropriée des produits chimiques périmés.

#### **5.2.1.2 Optimisation du stockage**

Pour maximiser l'utilisation de l'espace de stockage disponible tout en facilitant l'accès aux articles stockés le logiciel :

- Analyser les exigences de stockage pour chaque produit chimique en fonction de ses propriétés, de sa compatibilité et des consignes de sécurité
- Suggérer des emplacements de stockage optimaux pour minimiser les risques et maximiser l'utilisation de l'espace
- Générez automatiquement des plans de stockage conformes aux réglementations et aux bonnes pratiques

#### **5.2.1.3 Sécurité et conformité :**

Lorsque les articles stockés présentent des risques potentiels pour la santé, la sécurité ou l'environnement la sécurité et la conformité représentent des aspects essentiels donc ce logiciel peut :

- Surveiller les conditions de stockage, telles que la température, l'humidité et la ventilation, pour s'assurer qu'elles répondent aux exigences de sécurité
- Alerter les gestionnaires des installations des dangers potentiels ou des écarts par rapport aux consignes de sécurité

- Générer des rapports sur le stockage et la manipulation des produits chimiques pour la conformité réglementaire

#### **5.2.1.4 Réponse d'urgence :**

Il est essentiel de mettre en place des plans et des procédures d'urgence pour faire face à toute situation imprévue ou à des incidents qui pourraient survenir, pour cela notre sous-système peut :

- S'intègre aux systèmes de détection, d'alarme et d'extinction d'incendie pour fournir des informations en temps réel sur les risques chimiques en cas d'urgence
- Fournir des informations sur les mesures d'intervention appropriées pour des incidents chimiques spécifiques

#### **5.2.1.5 Formation et accompagnement :**

Jouent un rôle crucial dans la gestion de stock car ils permettent de former et de soutenir les professeurs et étudiants et le familiariser avec les processus et offre une formation continue pour que améliorer les compétences et rester à jour avec les nouvelles pratiques et technologies, Cela contribue à améliorer la précision des stocks, à réduire les erreurs et les pertes, et à assurer la conformité aux normes et réglementations applicables, c'est pour ça notre logiciel donne une importance à ce point et qui :

- Offrir des modules de formation virtuels sur le stockage, la manipulation et les procédures de sécurité des produits chimiques
- Fournir une assistance en temps réel au personnel de l'établissement via des chatbots ou des assistants virtuels
- Mettre à jour en permanence les supports de formation en fonction des nouvelles réglementations, des meilleures pratiques de l'industrie et des exigences spécifiques aux installations

La mise en œuvre d'un système d'assistance intelligent pour le stockage des produits chimiques peut aider les organisations à réduire les risques, à améliorer l'efficacité et à garantir la conformité aux réglementations de sécurité. En tirant parti de l'IA et de l'automatisation, les installations peuvent mieux gérer leur inventaire de produits chimiques et créer un environnement de travail plus sûr.

### 5.2.2 Système de sécurité incendie intelligent :

C'est un système avancé qui intègre des technologies et des fonctionnalités intelligentes pour la détection précoce des incendies, la gestion des alarmes, la lutte contre l'incendie et la sécurité des occupants qui peut :

- Utilisez des détecteurs de fumée à intelligence artificielle. L'IA peut détecter des schémas de fumée anormaux qui indiquent un incendie réel par rapport à une fausse alarme. Cela réduit les évacuations inutiles.
- Utilisez des capteurs de température et des caméras infrarouges pour détecter les incendies à leurs débuts. Cela permet un temps de réponse plus rapide et une suppression des incendies plus efficace.
- Mettre en place un système d'extinction d'incendie automatisé qui détecte les incendies et active immédiatement les gicleurs ou les agents extincteurs. Cela peut aider à contrôler les petits incendies avant qu'ils ne se propagent.
- Installez des balises dans tout le bâtiment qui peuvent guider les occupants vers la voie de sortie la plus proche lors d'une évacuation. Les balises peuvent utiliser des lumières, des sons ou un retour haptique pour guider en toute sécurité les personnes vers les sorties.
- Mettre en place un système de communication d'urgence pouvant informer les occupants de l'emplacement exact et des détails de l'incendie. Le système peut également fournir des instructions d'évacuation en temps réel.
- Intégrez le système de sécurité incendie à d'autres systèmes du bâtiment comme le CVC et le contrôle d'accès. Cela permet aux systèmes d'activer automatiquement les fonctions de sécurité lorsqu'un incendie est détecté.
- Utilisez des drones ou des robots pour inspecter les zones difficiles d'accès pour les humains en toute sécurité. Les drones peuvent détecter les incendies et transmettre des informations aux premiers intervenants.
- Installez des systèmes d'évacuation vocaux capables de fournir des instructions et des informations verbales aux occupants. Ceci est particulièrement utile pour les personnes malvoyantes.

- Mettre en place un système qui peut surveiller et contrôler à distance les fonctions de sécurité incendie. Le personnel autorisé peut activer les alarmes, les supprimeurs et d'autres fonctions depuis n'importe quel endroit.

#### **5.2.2.1 Système d'alarme et de détection d'incendie :**

Il utilise des technologies avancées pour améliorer la détection des incendies, réduire les fausses alarmes et permettre une réponse plus rapide en cas d'urgence. Ce système peut :

- Comprendre des détecteurs de fumée, des détecteurs de chaleur et des détecteurs de flamme pour détecter les incendies.
- Être connecté à une station de surveillance centrale, qui peut alerter les services d'urgence en cas d'incendie.
- Être intégré à un système d'extinction d'incendie automatique, tel qu'un système de gicleurs, pour aider à éteindre l'incendie.

#### **5.2.2.2 Système d'extinction rapide**

Lorsqu'un incendie est détecté, le système d'extinction intelligent active automatiquement les dispositifs d'extinction appropriés, tels que les sprinklers, les systèmes d'extinction à gaz ou les systèmes d'extinction par brouillard d'eau. Ces dispositifs sont activés de manière sélective pour cibler l'incendie et minimiser les dommages matériels.

De plus, le système d'extinction intelligent est capable de localiser précisément l'incendie en utilisant des techniques de localisation avancées, ce qui permet de diriger l'extinction vers la zone spécifique de l'incendie et de réduire les dégâts collatéraux.

Le système d'extinction intelligent surveille en continu l'évolution de l'incendie et ajuste automatiquement les paramètres d'extinction en fonction des conditions changeantes. Il est également intégré à un système de gestion du bâtiment ou à d'autres systèmes de sécurité pour une réponse coordonnée en cas d'incendie.

#### **5.2.2.3 Système d'évacuation d'urgence :**

C'est l'ensemble de dispositifs et de procédures conçus pour assurer la sécurité et l'évacuation rapide des personnes en cas d'urgence, telle qu'un incendie, une fuite de gaz, une intrusion, un tremblement de terre, etc. Ces systèmes sont essentiels pour garantir la protection des occupants d'un bâtiment et minimiser les risques lors d'une situation critique, ce système peut :

- Comprendre des alarmes visuelles et sonores, telles que des lumières stroboscopiques et des sirènes, pour avertir les occupants du bâtiment d'évacuer.
- Inclure un éclairage de secours pour guider les occupants vers la sortie la plus proche.
- Inclure une signalisation pour aider à diriger les occupants vers la sortie la plus proche.

L'introduction d'un système de détection intelligent pour accompagner un jumeau numérique d'un laboratoire de chimie constitue une avancée significative dans le domaine de la surveillance et de la gestion des laboratoires chimiques. Ce système combine la puissance de la technologie des capteurs, de l'intelligence artificielle et de la modélisation virtuelle pour offrir une solution avancée de suivi en temps réel, de détection d'anomalies et d'aide à la décision.

Traditionnellement, la surveillance des laboratoires de chimie reposait principalement sur des méthodes manuelles et périodiques, ce qui pouvait entraîner des retards dans la détection des problèmes ou des situations dangereuses. Grâce au système de détection intelligent, il est désormais possible de collecter des données précises et en temps réel sur divers paramètres clés du laboratoire, tels que la température, la pression et la concentration de gaz.

Ces capteurs, répartis stratégiquement dans tout le laboratoire, enregistrent en continu les données, qui sont ensuite analysées par un système d'analyse des données alimenté par l'intelligence artificielle. L'utilisation de techniques d'apprentissage automatique permet au système d'identifier des schémas, des tendances ou des anomalies dans les données, améliorant ainsi la capacité de détection précoce des situations critiques.

Lorsque des anomalies sont détectées, le système génère des alertes ou des notifications en temps réel, permettant aux opérateurs du laboratoire de prendre des mesures appropriées pour prévenir les incidents ou y répondre rapidement. De plus, ce système peut être intégré à un jumeau numérique du laboratoire de chimie, une représentation virtuelle du laboratoire qui simule son fonctionnement. Cette intégration permet une visualisation en temps réel de l'état du laboratoire, ainsi que la simulation de scénarios pour évaluer les impacts potentiels des changements ou des incidents.

### 5.2.3 Système d'automatisation du bâtiment :

Un système d'automatisation du bâtiment, également appelé système de gestion technique du bâtiment (GTB) ou système de gestion du bâtiment (GTC), est un ensemble de technologies et de dispositifs intégrés pour automatiser et gérer les différentes fonctions d'un bâtiment. Ces systèmes permettent de :

- Surveiller et contrôler divers systèmes du bâtiment, y compris le CVC, l'éclairage et la sécurité.
- Intégré au système d'alarme et de détection d'incendie pour arrêter automatiquement les systèmes non essentiels et empêcher la propagation de la fumée et du feu.
- Comprendre un système de gestion de bâtiment (BMS) pour fournir une surveillance et un contrôle en temps réel des systèmes de bâtiment.

### 5.3 Réalisation d'un jumeau numérique

La réalisation d'un jumeau numérique peut être un processus complexe qui nécessite une planification et une approche méthodique. Voici une démarche générale et simplifiée pour réaliser un jumeau numérique :

**Collecte des données :** Collectez les données nécessaires sur le système physique que vous souhaitez modéliser. Cela peut inclure des données de capteurs, des données opérationnelles, des plans, des spécifications techniques, etc.

**Choix de la plateforme :** Sélectionnez une plateforme appropriée pour la création et la gestion du jumeau numérique. Il existe plusieurs outils et plates-formes disponibles, tels que Microsoft Azure Digital Twins, Siemens MindSphere, et d'autres solutions personnalisées.

**Modélisation du jumeau numérique :** Créez un modèle du jumeau numérique en utilisant des outils de modélisation adaptés. Le modèle doit représenter fidèlement le système physique et inclure les composants, les interactions et les comportements du système.

**Intégration des données :** Intégrez les données collectées dans le modèle du jumeau numérique. Assurez-vous que les données sont de qualité et alignées avec les spécifications du modèle.

**Validation et calibration :** Validez le modèle du jumeau numérique en le comparant aux données du système réel. Effectuez des tests pour vérifier la précision du modèle et ajustez-le si nécessaire.



**Interactions en temps réel** : Configurez le jumeau numérique pour qu'il puisse interagir en temps réel avec le système réel. Cela peut inclure la connexion de capteurs, la collecte continue de données et la mise à jour du modèle en fonction des informations en temps réel.

**Analyse et simulation** : Utilisez le jumeau numérique pour effectuer des analyses, des simulations et des prédictions. Identifiez les problèmes potentiels, évaluez les scénarios et explorez les solutions pour optimiser les performances du système réel.

**Maintenance et amélioration continue** : Continuez à collecter des données, à mettre à jour le modèle et à améliorer le jumeau numérique en fonction des changements et des évolutions du système réel.

### 5.3.1 Exemple d'un jumeau numérique pour notre laboratoire de chimie

Ce jumeau numérique nous aide à reproduire fidèlement les caractéristiques et le fonctionnement du laboratoire dans un environnement virtuel. Il permet de réaliser des simulations, d'analyser les performances, d'anticiper les problèmes potentiels et de prendre des décisions éclairées. Le jumeau numérique peut être utilisé pour optimiser les processus, améliorer la productivité, réduire les coûts et renforcer la sécurité dans le laboratoire de chimie.



**Figure 5.1** : Représentation virtuelle de notre laboratoire avant l'aménagement

### 5.4 Conclusion

En conclusion, l'utilisation d'un jumeau numérique dans un laboratoire pour la prévention offre de nombreux avantages et opportunités. Les jumeaux numériques permettent de simuler et d'analyser les processus, les équipements et les systèmes dans un environnement virtuel sécurisé, sans impacter les opérations réelles. Cela permet d'identifier les risques potentiels, d'optimiser les procédures et de mettre en place des mesures préventives avant leur application dans le monde réel.

Les jumeaux numériques contribuent également à la formation des professionnels, en leur permettant de se familiariser avec les différentes formes de compromission d'un système et de s'entraîner à appliquer les procédures de réponse les plus adaptées. Ils facilitent également la détection d'intrusions et la surveillance des systèmes en temps réel, en identifiant les écarts de comportement entre le système physique et sa copie virtuelle.

En outre, les jumeaux numériques permettent d'évaluer les modifications apportées à un système et d'estimer leur impact sur la sécurité et la performance, sans perturber l'environnement de production réel. Cela permet de tester et d'optimiser les solutions avant leur déploiement, réduisant ainsi les coûts et les risques associés.

Dans l'ensemble, l'utilisation d'un jumeau numérique dans un laboratoire pour la prévention améliore la sécurité, l'efficacité et la résilience des systèmes, tout en favorisant la collaboration et la communication entre les équipes. Cela permet aux laboratoires de mieux anticiper et gérer les risques, d'optimiser les processus et de garantir la qualité et la fiabilité des résultats.

### Conclusion générale

En conclusion, ce travail a abordé de manière approfondie la modélisation de la propagation du feu dans un laboratoire de chimie universitaire, mettant en évidence l'importance de comprendre les risques d'incendie et de mettre en place des mesures de sécurité adéquates.

Les différents chapitres ont examiné des aspects clés liés à ce sujet, fournissant une compréhension approfondie des classes, des types et des catégories des établissements recevant du public (ERP), ainsi que des risques spécifiques aux laboratoires de chimie.

La classification des ERP a permis de comprendre la diversité des établissements recevant du public et la nécessité de les classer en fonction de leurs caractéristiques et des risques associés. Cela a souligné l'importance de la connaissance des normes et des réglementations pour assurer la sécurité des laboratoires de chimie universitaires et on a cité les risques d'incendie dans les laboratoires de chimie et les ERP en mettant en évidence les facteurs spécifiques qui contribuent aux incendies dans ces environnements et identifier l'importance de la gestion des produits chimiques, des installations électriques, des équipements de sécurité et de la formation du personnel pour prévenir et maîtriser les incendies.

Notre audit sur les mesures de sécurité incendie dans un laboratoire a permis d'évaluer l'efficacité des protocoles de sécurité existants et d'identifier les lacunes éventuelles.

Ainsi, la modélisation de la propagation du feu dans un laboratoire de chimie à l'aide de PyroSim et Pathfinder s'avère essentielle pour assurer la sécurité des personnes et des installations. Les laboratoires de chimie universitaires présentent des risques d'incendie significatifs en raison de la présence de produits chimiques inflammables et de procédures expérimentales complexes.

La simulation de la propagation du feu avec PyroSim permet de mieux comprendre comment le feu se propage dans un espace donné, en prenant en compte des facteurs tels que la ventilation, la disposition des équipements et la nature des matériaux présents. Cela permet de visualiser les zones à risque et d'identifier les mesures de sécurité appropriées pour minimiser les risques d'incendie. Pathfinder, quant à lui, est un outil de simulation d'évacuation qui aide à planifier et à optimiser les itinéraires d'évacuation en cas d'incendie, garantissant ainsi la sécurité des personnes présentes dans le laboratoire.

La combinaison de PyroSim et Pathfinder offre une approche complète pour la gestion des incendies dans les laboratoires de chimie universitaires. Ces outils permettent de simuler et de

## CONCLUSION GENERALE

---

modéliser virtuellement les scénarios d'incendie, ce qui facilite la prise de décisions éclairées en matière de sécurité. Ils fournissent des informations précieuses sur les zones à risque, les points chauds potentiels et les moyens d'évacuation efficaces, ce qui permet de mettre en place des mesures de prévention et de protection adaptées.

Enfin, le concept du jumeau numérique a été exploré comme un système de protection avancée. En utilisant un jumeau numérique, il est possible de simuler et de tester virtuellement des scénarios d'incendie, d'anticiper les risques potentiels, de développer des stratégies de prévention et de prendre des décisions éclairées pour renforcer la sécurité incendie dans les laboratoires de chimie universitaires.

Cette thèse est une contribution à la modélisation de la propagation du feu dans un laboratoire de chimie universitaire pour garantir la sécurité du personnel et des installations. Les chapitres ont fourni des connaissances approfondies sur les risques d'incendie, les mesures de sécurité, la simulation et le potentiel du jumeau numérique. Il est essentiel de mettre en œuvre des mesures de sécurité adéquates, de promouvoir la sensibilisation et la formation du personnel, et d'utiliser des outils technologiques avancés pour prévenir les incendies et protéger les laboratoires de chimie universitaires.

## Références bibliographiques

### Livres :

[7] : Règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public, direction générale de la protection civile, Edition (1985).

[9] : Réglementation et mise en sécurité incendie des ERP, CSTB éditons.

[15] : La prévention et la gestion des risques d'incendie dans les ERP, Hélène Douzon et Jean-Christophe Arnaudet, éditions Hermès (2015).

[21]: Chemical laboratory safety incident: causes and responses, Journal of Chemical Information and Modeling, 39(2), 213-220. Bonadonna, D.P. (1999).

### Sites web :

[20] : Bases des données Aria

<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>

[23]: National Fire Protection Association (NFPA). (n.d.). Fire Protection in Business Occupancies.

<https://www.nfpa.org/News-and-Research/Data-research-and-tools/Building-and-Life-Safety/High-Rise-Building-Fires>

### Thèses et mémoires :

[3] : Problématique des établissements recevant du public à structures en grandes portées en Algérie, Rouabah Z et Ben hamada R, 05-20, université de Jijel, (2015).

[8] : « Approche Réglementaire », Mekideche O, 16-24, Ecole nationale polytechnique, (2018).

[18] : Simulation d'un incendie dans un espace confiné et mécaniquement ventilé par le logiciel PYROSIM, 3-56, Goussanem M, Katbi O, université d'Oran 02 (2022).

[22]: Common causes of laboratory fires. Journal of Chemical Health and Safety, 19(4), 22-27. Taylor, R.S. & Kerr, M.L. (2012).

[24]: Statistical analysis and Countermeasures of explosion and fire accidents in University Laboratory, Yanbo Y, (2020).

[25] : Enquête sur le système de gestion de la prévention des incendies de laboratoire combinant l'analyse des causes profondes et le processus de hiérarchie analytique avec l'analyse de l'arborescence des événements, **Shin K**, Université nationale Cheng Kung, (2016)

[27] : Analyse Quantitative des Risques : Application sur les Bacs de Stockage, Guetarni IHM, 33-36, université d'Oran 02 (2019).

[31] : Proposition d'un jumeau numérique pour soutenir la gestion de l'exploitation d'une infrastructure linéaire, Yvan T, université Troyes

[32] : Développement d'un jumeau numérique de la main pour l'analyse biomécanique de l'arthrose et de ses traitements chirurgicaux, Barthélémy F, université Aix de Marseille.

[33]: Digital Twins for the Intelligent Detection of Malicious Activities in Urban Spaces, Zoheir S, université de Bournemouth.

#### **Articles et revues académiques :**

[4] : Le Risque Incendie dans les ERP : Causes, Conséquences et Moyens de Luttés.

[11] : Analyse de risque incendie sur un ERP, Sause G, (2009).

[16] : Sécurité incendie Guide pédagogique, université de Montpellier.

[17] : Lutte contre l'incendie et évacuation, Marque Jaune, MémoForma.

[26] : L'arbre de défaillance : principes et applications" by M. Maurice et P. Delhommais.

[34]: Digital Twin Toolkit Developing the business case for your digital twin, université de Cambridge

#### **Guides et documents officiels :**

[2] : Ministère de l'Intérieur (France) - Guide des établissements recevant du public (ERP) :

<https://www.interieur.gouv.fr/content/download/124775/995706/file/Guide%20ERP%202020%20-%20bdef.pdf>

[5] : Code de la construction et de l'habitation français :

[https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte\\_lc/LEGITEXT000006074096/](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte_lc/LEGITEXT000006074096/)

[6] : Classement et classification des ERP, direction générale de la protection civile  
<https://www.protectioncivile.dz/?controller=article&action=contenu&ida=32&idr=2>

[12] : Préfecture de l'Aube :

### ACCESSIBILITÉ DES ÉTABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC

[13] : Ministère de l'Intérieur (France). Guide de sécurité des établissements recevant du public (ERP) et des établissements recevant des travailleurs (ERT). (2017).

<https://www.interieur.gouv.fr/Publications/Le-Ministere/Securite-civile/Guide-de-securite-des-ERP-et-ERT>

[14] : Ministère de l'Intérieur (France). Guide de prévention des risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public. (2018).

<https://www.interieur.gouv.fr/Publications/Le-Ministere/Securite-civile/Guide-de-prevention-des-risques-d-incendie-et-de-panique-dans-les-etablissements-recevant-du-public>

[19] : Commission de la sécurité des consommateurs (CSC). Guide pratique de sécurité des établissements d'enseignement. (2012).

<https://www.canada.ca/fr/commission-securite-consommateurs.html>

[28]: PyroSim User Guide. Thunderhead Engineering:

[https://support.thunderheadeng.com/docs/pyrosim/2020.2/pyrosim\\_user\\_guide.pdf](https://support.thunderheadeng.com/docs/pyrosim/2020.2/pyrosim_user_guide.pdf)

[29]: Pathfinder User Guide. Thunderhead Engineering:

[https://support.thunderheadeng.com/docs/pathfinder/2020.2/pathfinder\\_user\\_guide.pdf](https://support.thunderheadeng.com/docs/pathfinder/2020.2/pathfinder_user_guide.pdf)

[30]: National Institute of Standards and Technology (NIST). (2019). NIST Special Publication 1019 Sixth Edition Fire Dynamics Simulator User's Guide. Gaithersburg, MD, NIST.

### **Codes et textes de loi :**

[1] : Ordonnance n° 76-87 du 4 octobre 1976 relative à la sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public. Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire n° 77 du 15 octobre 1976.

**[10]** : Loi n° 19-02 du 17 juillet 2019 relative aux règles générales de prévention des risques d'incendie et de panique. Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire n°46 du 21 juillet 2019.







