

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

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département de Maîtrise des Risques Industriels et Environnementaux "MRIE"

Filière : Qualité, Hygiène, Sécurité, Environnement et Gestion des Risques
Industriels

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en QHSE-GRI

**Etude et dimensionnement d'un système de désenfumage
du Parking de la grande Mosquée d'Alger (Djamaâ El
Djazair) en utilisant le logiciel FDS**

RAMI Lydia Wissem

Sous la direction de :

Mme BENTAALLA Souad

M. BOUSBAI M'hamed

Mme GEUZZANE Rayane

M. BASTA Khaled

Maître de Conférences B, ENP

Maître de Conférences B, ENP

Doctorante HSI ENP

Directeur de BK Fire

Présenté et soutenu publiquement le 14/07/2022 devant le jury composé de :

Président

M. BENMOKHTAR Amine

Maître de Conférences A à l'ENP

Examineur

M. CHERGUI Abdelmalek

Professeur à l'ENP

Examineur

M. BOUBAKEUR Mohamed

Maître Assistant A à l'ENP

Examineur

M. ATTOUCHI Tarek

Maître de Conférences B à l'ENP

ENP 2022

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

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



**Département de Maîtrise des Risques Industriels et
Environnementaux "MRIE"**

Filière : Qualité, Hygiène, Sécurité, Environnement et Gestion des Risques
Industriels

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en QHSE-GRI

**Etude et dimensionnement d'un système de désenfumage
du Parking de la grande Mosquée d'Alger (Djamaâ El
Djazair) en utilisant le logiciel FDS**

RAMI Lydia Wissem

Sous la direction de :

Mme BENTAALLA Souad

M. BOUSBAL M'hamed

Mme GEUZZANE Rayane

M. BASTA Khaled

Maître de Conférences B, ENP

Maître de Conférences B, ENP

Doctorante HSI ENP

Directeur de BK Fire

Présenté et soutenu publiquement le 14/07/2022 devant le jury composé de :

Président

M. BENMOKHTAR Amine

Maître de Conférences A à l'ENP

Examineur

M. CHERGUI Abdelmalek

Professeur à l'ENP

Examineur

M. BOUBAKEUR Mohamed

Maître Assistant A à l'ENP

Examineur

M. ATTOUCHI Tarek

Maître de Conférences B à l'ENP

ENP 2022

Remerciement

Avant tout développement sur cette expérience professionnelle, il apparait opportun de commencer ce mémoire par des remerciements, à ceux qui m'ont beaucoup appris au cours de ce Projet, et même à ceux qui ont eu la gentillesse de faire de ce Projet un moment très profitable.

Tout d'abord, je tiens à remercier le bon Dieu le tout-puissant de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail,

Également je remercie infiniment mes parents, pour leurs amours, ils m'ont tellement encouragé, ma mère qui m'a soutenu pour continuer mes études dans de bonnes conditions. Mon père qui a toujours voulu ma réussite mais malheureuse qui ne fait plus partie de ce monde depuis l'année dernière, je suis certaine qu'il serait fier de moi de là où il est. Une grande pensée particulière à ma grande sœur adorée qui m'a toujours soutenu durant mes études malgré les 3000km qui nous sépare.

Je tiens à remercier mes Encadrants : BOUSBAL M'hamed, BENTAALLA Souad, BASTA Khaled et GUEZZANE Rayane qui m'ont apportés leurs aides et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Mais aussi je souhaite remercier plus précisément GUEZZANE Rayane d'être toujours présente pour moi, lorsque j'avais le plus besoin d'aide et qui a su me comprendre, et qui a toujours eu confiance en moi et m'a soutenu tout au long de ce travail.

Je remercie aussi AOUICHAT Tarek d'avoir pris le temps de m'aider et de m'apprendre l'outil de bases de dimensionnement.

Je continue mes remerciements pour les membres du jury, Monsieur BENMOKHTAR Amine qui nous a fait l'honneur de présider ce jury, Monsieur BOUBAKEUR Mohamed Chef département MRIE à l'ENP et plus précisément Monsieur CHERGUI qui avec sa bonté et sa confiance m'a attribué les clés de son bureau afin que je puisse utiliser l'ordinateur de l'école, et tous mes enseignants qui ont tous bien voulu accepter d'examiner et de juger ce travail.

Je remercie la crème de mes amis : Kenza, Yacine, Amira et Belkis qui m'ont beaucoup soutenu et qui sont toujours à mes côtés pour m'encourager, et m'aider dans les moments les plus difficiles.

Je tiens à remercier tous nos professeurs de l'école nationale polytechnique de nous avoir incités à travailler en mettant à notre disposition leurs expériences et leurs compétences.

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A la mémoire de mon père qui a disparu trop de ce monde, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance, il a toujours été là pour moi, le meilleur père du monde je tiens à honorer l'homme qu'il été. Ce modeste travail est le fruit de tous les sacrifices qu'il a déployés pour mon éducation et ma formation. Son soutien fut une lumière dans tout mon parcours. Je t'aime papa, que Dieu lui fasse miséricorde et le place dans ses paradis.

A ma mère Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes côtés dans les moments difficile, ce j'ai pu accomplir jusqu'à présente est le fruit de tous ce que tu as sacrifiés pour moi. Je voudrais te remercier pour ton amour, ta générosité, ta compréhension. Puisse le tout puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour.

A ma sœur, je me suis toujours estimé chanceuse d'avoir une grande sœur comme toi sur laquelle on peut compter, Tu m'as soutenu, réconforté et encouragé. Tu as toujours été mon modèle dont je suis très fière, je te remercie du fond du cœur pour tous ce que tu as fait pour moi. Puisse nos liens fraternels se consolider et se pérenniser encore plus.

SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| Introduction | 11 |
| Problématique..... | 12 |
| Chapitre 1 : Généralités..... | 13 |
| 1.1 Introduction :..... | 14 |
| 1.2 Présentation | 14 |
| 1.3 Définition de la structure étudiée..... | 14 |
| 1.3.1 Etablissement recevant du public (ERP) :..... | 14 |
| 1.3.2 La réglementation Sécurité incendie dans les ERP | 16 |
| 1.4 L'incendie..... | 17 |
| 1.4.1 L'évacuation du public lors d'un incendie | 18 |
| 1.4.2 Taux de dégagement de chaleur (HRR) | 19 |
| 1.5 La fumée..... | 20 |
| 1.5.1 Caractéristique de la fumée | 20 |
| 1.6 Le désenfumage..... | 21 |
| 1.6.1 Les objectifs de désenfumage..... | 21 |
| 1.6.2 Méthodes d'extraction de fumée | 21 |
| 1.6.3 Réglementation désenfumage..... | 23 |
| 1.7 Phénomène de propagation d'un incendie dans les milieux confinés | 24 |
| 1.7.1 Phase initiale..... | 25 |
| 1.7.2 Phase de propagation..... | 25 |
| 1.7.3 Le flash over..... | 26 |
| 1.7.4 L'incendie pleinement développé | 27 |
| 1.7.6 Le Back-draft..... | 27 |
| 1.7.7 Phénomène de pulsation | 29 |
| 1.7.8 Phénomène de reprise du développement | 30 |
| 1.8 Phénomène et mode de propagation des fumées | 30 |
| 1.8.1 Les forces de flottabilité | 31 |
| 1.8.2 La surpression causée par le feu..... | 32 |
| 1.8.3 La dilatation thermique..... | 32 |
| 1.8.4 Les différences de pression en fonction de la hauteur d'un bâtiment (l'effet cheminé)..... | 33 |
| Conclusion..... | 34 |
| Chapitre 2 : Evaluation des risques liés au parking objet de l'étude | 35 |
| 2.1 Introduction | 36 |
| 2.2 Présentation du parking | 36 |
| 2.2.1 État des lieux : | 36 |
| 2.3 Evaluation des risques | 39 |
| 2.3.1 Retour d'expérience « REX »..... | 39 |
| 2.4 Détermination des facteurs de risques | 42 |
| 2.4.1 Identification des facteurs de risques extrinsèques..... | 42 |
| 2.4.2 Identification des facteurs de risque intrinsèques :..... | 45 |
| 2.5 Evaluation des risques : L'ANALYSE DES RISQUES ET DES CONSEQUENCES..... | 46 |
| 2.5.1 Élaboration des critères de l'évaluation..... | 46 |
| 2.5.2 L'évaluation des risques | 48 |

| | | |
|--|--|-----|
| 2.5.3 | Sélection des scénarios retenus | 53 |
| 2.5.3 | Synthèse de l'évaluation..... | 54 |
| 2.6 | Conclusion..... | 56 |
| Chapitre 3 : Dimensionnement du système de désenfumage | | 57 |
| 3.1 | Introduction | 58 |
| 3.2 | Principe de dimensionnement : | 58 |
| 3.2.1 | Principe de désenfumage applicable aux circulations enclouées..... | 58 |
| 3.2.2 | Détermination des unités de passage dans les couloirs | 60 |
| 3.3 | Dimensionnement par AutoCAD | 61 |
| 3.3.1 | Présentation du logiciel | 61 |
| 3.3.2 | Choix de la gaine de désenfumage | 62 |
| 3.3.3 | Méthode de dimensionnement..... | 63 |
| 3.3.4 | Le compartimentage du parking | 66 |
| 3.3.5 | Positionnement des bouches d'extraction et d'amenée d'air..... | 71 |
| 3.3.6 | Les calculs des débits d'extraction et d'amenée d'air | 72 |
| 3.3.7 | Dimensionnement des tronçons..... | 73 |
| 3.4 | Dimensionnement des grilles d'extraction | 83 |
| 3.4.1 | La mise en place des grilles..... | 89 |
| 3.4.2 | La mise en place finale des gaines de désenfumage..... | 91 |
| Conclusion..... | | 95 |
| Chapitre 4 : Modélisation à travers FDS | | 96 |
| 4.1 | Introduction | 97 |
| 4.2 | Description du code FDS..... | 97 |
| 4.2 | Pyrosim..... | 98 |
| 4.3 | Définition de la configuration de l'étude..... | 98 |
| 4.3.1 | Maillage..... | 98 |
| 4.3.2 | Modèle numérique du parking..... | 100 |
| 4.3.3 | Mise en place des gaines | 105 |
| 4.4 | Définition des scénarios d'incendie..... | 114 |
| 4.4.1 | Scenario 1 | 114 |
| 4.4.2 | Scenario 2..... | 116 |
| 4.4.3 | Scenario 3 | 118 |
| 4.5 | Etude de la performance du désenfumage | 120 |
| 4.5.1 | Moyens d'analyse des résultats | 120 |
| 4.5.2 | Les effets du feu sur les personnes : | 130 |
| 4.5.3 | Opacité de la fumée dans les trois compartiments | 133 |
| 4.5.4 | Température..... | 136 |
| 4.5.5 | Concentration en CO ₂ /O ₂ | 141 |
| 4.6 | Etude des chemins d'évacuation : | 148 |
| 4.6.1 | Disposition des capteurs de mesure de température : | 148 |
| 4.6.2 | Choix de chemin d'évacuation : | 149 |
| Conclusion..... | | 158 |
| Conclusion générale | | 159 |
| Références bibliographiques | | 161 |
| Annexe | | 162 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1.1 triangle du feu [2]..... | 17 |
| Figure 1.2 Représentation de calcul de l'unité de passage | 18 |
| Figure 1.3: Effet de confinement sur le taux de masse perdue [12] | 20 |
| Figure 1.4 Désenfumage par tirage naturel | 21 |
| Figure 1.5 Désenfumage par tirage mécanique | 22 |
| Figure 1.6 Les évolutions possibles d'un incendie en milieu confiné [9] | 24 |
| Figure 1.7 Principe de propagation de la combustion par transmission de chaleur | 25 |
| Figure 1.8 Extinction par manque d'oxygène | 26 |
| Figure 1.9 Phase de l'incendie pleinement développé | 27 |
| Figure 1.10 Le développement d'un backdraft. (Graphic : Gottuk 1999) [13] | 28 |
| Figure 1.11 Effets de pression à l'origine du phénomène de pulsation..... | 29 |
| Figure 1.12 Phénomène Reprise du développement | 30 |
| Figure 1.13 Mouvement de la fumée..... | 31 |
| Figure 1.14 Poussée d'Archimède..... | 31 |
| Figure 1.15 Mouvement d'air par différence de pression dans un milieu fermé [16] | 32 |
| Figure 1.16 Effet de cheminée dans les bâtiments à grande hauteur..... | 33 |
| Figure 1.17 Mouvement de l'air en fonction de la différence de pression [17] | 33 |
| Figure 1.18 Mouvement de l'air en fonction de la différence de pression en présence du vent | 34 |
| Figure 2.1 Vu d'en haut des blocs de la grande mosquée sur plan..... | 37 |
| Figure 2.2 Vu sur plan du parking sous-sol 2..... | 38 |
| Figure 2.3 Carte de zones sismiques en Algérie..... | 43 |
| Figure 2.4 Plan de situation..... | 44 |
| Figure 2.5 Les points sensibles du parking | 55 |
| Figure 3.1 Désenfumage mécaniques pour la circulation enclouée..... | 58 |
| Figure 3.2 Désenfumage mécaniques des circulations | 59 |
| Figure 3.3 Schéma représentative de la distance entre la porte d'un local et un VB | 59 |
| Figure 3.4 Dimensionnement des VB et VH dans une circulation enclouée | 59 |
| Figure 3.5 Schéma représentative du principe des unités de passage..... | 60 |
| Figure 3.6 Les panneaux de silicate de calcium | 62 |
| Figure 3.7 La gaine de désenfumage | 62 |
| Figure 3.8 Détermination des 4 parties du parking sous-sol 2 | 63 |
| Figure 3.9 Plan du 2eme sous-sol..... | 64 |
| Figure 3.10 Plan du 2eme sous-sol..... | 64 |
| Figure 3.11 Plan du 2eme sous-sol..... | 65 |
| Figure 3.12 Les trois compartiments du parking..... | 67 |
| Figure 3.13 : les parois des escaliers | 68 |
| Figure 3.14 Positionnement des bouches d'extraction et d'amenée d'air | 71 |
| Figure 3.15 Illustration 3D du changement de dimension sur FDS | 74 |
| Figure 3.16 Illustration 2D du changement de dimension sur FDS | 74 |
| Figure 3.17 Choix de la direction du changement de dimension sur AutoFluid | 75 |
| Figure 3.18 Démonstration du changement de dimension sur AutoCAD | 76 |
| Figure 3.19 Les deux types de coudes qui existe sur Autofluid | 76 |
| Figure 3.20 Les trois types de piquage qui existe sur Autofluid | 76 |
| Figure 3.21 Piquage vers la tourelle ou le caisson de ventilation..... | 77 |
| Figure 3.22 Dimensionnement grille GE 60 – XL | 86 |
| Figure 3.23 Grille GE 60 – XL..... | 86 |

| | |
|---|-----|
| Figure 3. 24 Dimensionnement grille GE 120 - XL..... | 87 |
| Figure 3.25 Grille GE 120 - XL..... | 87 |
| Figure 3.26 Dimensionnement grille GZ 60..... | 88 |
| Figure 3.27 Grille GZ 60..... | 88 |
| Figure 3. 28 La fonctionnalité boîte à grille..... | 89 |
| Figure 3.29 grille de soufflage..... | 90 |
| Figure 3. 30 grille d'extraction..... | 90 |
| Figure 3. 31 La mise en place de la grille..... | 90 |
| Figure 3. 32 Exemple de mise en place des grilles d'amenée d'air..... | 91 |
| Figure 3.33 dimensionnement du compartiment 1 sur AutoCAD..... | 92 |
| Figure 3.34 dimensionnement du compartiment 2 sur AutoCAD..... | 93 |
| Figure 3.35 dimensionnement du compartiment 3 sur AutoCAD..... | 94 |
| Figure 4.1 fonctionnement de FDS..... | 97 |
| Figure 4.2 Maillage du compartiment 3..... | 99 |
| Figure 4.3 Maillage du compartiment..... | 100 |
| Figure 4.4 Maillage du compartiment 1..... | 100 |
| Figure 4.5 Modélisation mures du parking..... | 102 |
| Figure 4.6 Vu de la modélisation sur un autre angle sans plafond..... | 102 |
| Figure 4.7 Modelé 3D des trois compartiments..... | 103 |
| Figure 4.8 Vu en 2D de la modélisation..... | 103 |
| Figure 4.9 Propriété chimique du combustible..... | 104 |
| Figure 4.10 Caractéristique de Température du combustible..... | 104 |
| Figure 4.11 Enthalpie de combustion..... | 104 |
| Figure 4.12 Définition HRR sur Pyrosim..... | 105 |
| Figure 4.13 représentation des nœuds sur les gaines d'extraction..... | 106 |
| Figure 4.14 Nomenclature des nœuds..... | 106 |
| Figure 4.15 critère de mise en place des nœuds..... | 107 |
| Figure 4.16 Exemple conduit d'extraction 2.2 du compartiment 2..... | 107 |
| Figure 4.17 Critères de mise en place des conduits..... | 108 |
| Figure 4.18 Compartiment 1 gaines d'extraction 2D..... | 108 |
| Figure 4.19 Compartiment 1 gaines d'extraction 3D..... | 109 |
| Figure 4.20 Compartiment 2 gaines d'extraction 2D..... | 109 |
| Figure 4.21 Compartiment 2 gaines d'extraction 3D..... | 110 |
| Figure 4.22 Compartiment 3 gaines d'extraction 2D..... | 110 |
| Figure 4.23 Compartiment 3 gaines d'extraction 3D..... | 111 |
| Figure 4.24 Visualisation du flux de fumée..... | 111 |
| Figure 4.25 visualisation de l'évacuation de la fumée..... | 112 |
| Figure 4.26 Simulation du compartiment 1..... | 112 |
| Figure 4.27 Simulation du compartiment 2..... | 113 |
| Figure 4.28 Simulation du compartiment 3..... | 113 |
| Figure 4.29 Composition du compartiment 1..... | 114 |
| Figure 4.30 nœud papillon du Scenario 1..... | 115 |
| Figure 4.31 Composition du compartiment 2..... | 116 |
| Figure 4.32 nœud papillon du Scenario 2..... | 117 |
| Figure 4.33 local électrique du groupe électrogène..... | 118 |
| Figure 4.34 Composition du compartiment 3..... | 118 |
| Figure 4.35 Nœud papillon du Scenario 3..... | 119 |
| Figure 4.36 Slice des compartiments..... | 120 |
| Figure 4.37 Slice température compartiment 1..... | 121 |
| Figure 4.38 slice taux de O ₂ compartiment 1..... | 122 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Figure 4.39 | slice taux CO ₂ compartiment 1 | 123 |
| Figure 4.40 | Slice température compartiment 2 | 124 |
| Figure 4.41 | slice taux de O ₂ compsrtiment 2..... | 125 |
| Figure 4.42 | slice taux CO ₂ compartiment 2 | 126 |
| Figure 4.43 | Slice température compartiment 3 | 127 |
| Figure 4.44 | slice taux de O ₂ compartiment 3..... | 128 |
| Figure 4.45 | slice taux CO ₂ compartiment 3 | 129 |
| Figure 4.46 | resultats du coef d'extinction du compartiment 1..... | 133 |
| Figure 4.47 | Résultats du coef d'extinction du compartiment 2 | 134 |
| Figure 4.48 | Résultats du coef d'extinction du compartiment 3 | 135 |
| Figure 4.49 | Résultats température compartiment 1..... | 136 |
| Figure 4.50 | Résultats température compartiment 2..... | 137 |
| Figure 4.51 | Résultats température compartiment 3..... | 139 |
| Figure 4.52 | Résultats de taux d'O ₂ compartiment 1..... | 141 |
| Figure 4.53 | résultats compartiment 1 du taux de CO ₂ | 142 |
| Figure 4.54 | Résultats de taux d'O ₂ compartiment 2..... | 144 |
| Figure 4.55 | Résultats compartiment 2 du taux de CO ₂ | 145 |
| Figure 4.56 | résultats de taux d'O ₂ compartiment 3..... | 146 |
| Figure 4.57 | résultats compartiment 3 du taux de CO ₂ | 147 |
| Figure 4.58 | Capteur compartiment 1..... | 148 |
| Figure 4.59 | capteur compartiment 2..... | 148 |
| Figure 4.60 | Capteur compartiment 3..... | 149 |
| Figure 4.61 | Disposition des capteurs du compartiment 2 | 149 |
| Figure 4.62 | résultats de la température compartiment 1 | 150 |
| Figure 4.63 | Distance entre les capteurs et les sorties les plus proches compartiment 1..... | 151 |
| Figure 4.64 | Coefficient d'extinction compartiment 1 | 152 |
| Figure 4.65 | Résultats de la température compartiment 2 | 153 |
| Figure 4.66 | Distance entre les capteurs et les sorties les plus proches compartiment 2..... | 154 |
| Figure 4.67 | Coefficient d'extinction des capteurs compartiment 2..... | 155 |
| Figure 4.68 | Résultats de la température du compartiment 3 | 156 |
| Figure 4.69 | coefficient d'extinction des capteurs du compartiment 3..... | 157 |
| Figure 4.70 | Distance entre les capteurs et les sorties les plus proches compartiment 3..... | 158 |

Liste des Tableaux

| | |
|---|-----------|
| Tableau 1.1 classement des ERP par type | 15 |
| Tableau 1.2 classement des ERP par type | 15 |
| Tableau 1.3 Le classement des ERP par catégories..... | 16 |
| Tableau 2.1 Classification sismique | 44 |
| Tableau 2.2 Échelle de probabilité du risque | 47 |
| Tableau 2.3 Échelle de gravité du risque..... | 47 |
| Tableau 2.4 Matrice de criticité..... | 47 |
| Tableau 2.5 Les scénarios d'accidents retenus | 53 |
| Tableau 3.1 Ancien classement feu français (M) | 69 |
| <i>Tableau 3.2 Tableau de classement Euroclasse</i> | <i>70</i> |
| Tableau 3.3 Les débits d'extraction..... | 73 |
| Tableau 3.4 Les débits d'amenée d'air..... | 73 |
| Tableau 3.5 Dimensionnement des conduites en T du compartiment 1 | 78 |
| Tableau 3.6 Dimensionnement de la conduite du compartiment 1 | 78 |
| <i>Tableau 3.7 Dimensionnement des conduites du compartiment 2</i> | <i>79</i> |
| Tableau 3.8 Dimensionnement des conduites du compartiment 3 | 79 |
| Tableau 3.9 Le dimensionnement des conduites (1) pour le compartiment 1 | 80 |
| Tableau 3.10 Le dimensionnement des conduites (2,3) pour le compartiment 1 | 80 |
| Tableau 3.11 Le dimensionnement des conduites (4) pour le compartiment 1 | 81 |
| Tableau 3.12 Le dimensionnement des conduites (1) pour le compartiment 2 | 81 |
| Tableau 3.13 Le dimensionnement des conduites (2,3) pour le compartiment 2 | 82 |
| Tableau 3.14 Le dimensionnement des conduites (4) pour le compartiment 2 | 82 |
| Tableau 3.15 Le dimensionnement des conduites (1) pour le compartiment 3 | 83 |
| Tableau 3.16 Le dimensionnement des conduites (2, 3,4) pour le compartiment 3 | 83 |
| Tableau 3.17 Dimensionnement des grilles du compartiment 1 | 84 |
| Tableau 3.18 Dimensionnement des grilles du compartiment 2 | 85 |
| Tableau 3.19 Dimensionnement des grilles du compartiment 3 | 85 |
| Tableau 4.1 Maillage des compartiments..... | 99 |
| Tableau 4.2 Dimensions des trois compartiments | 102 |
| Tableau 4.3 Effet de la température [22]..... | 130 |
| Tableau 4.4 seuil du coefficient extinction [20] | 131 |
| Tableau 4.5 effet du taux d'oxygène [20]..... | 132 |
| Tableau 4.6 effet du taux de CO ₂ [23]..... | 132 |
| Tableau 4.7 récapitulatif des résultats de température compartiment 1 et leurs effets | 137 |
| Tableau 4.8 récapitulatif des résultats de température compartiment 2 et leurs effets | 138 |
| Tableau 4.9 récapitulatif des résultats de température compartiment 3 et leurs effets | 140 |
| Tableau 4.10 récapitulatif des résultats taux d'O ₂ compartiment 1 et leurs effets | 142 |
| Tableau 4.11 récapitulatif des résultats taux de CO ₂ compartiment 1 et leurs effets | 143 |
| Tableau 4.12 récapitulatif des résultats taux d'O ₂ compartiment 2 et leurs effets | 144 |
| Tableau 4.13 récapitulatif des résultats taux de CO ₂ compartiment 2 et leurs effets..... | 145 |
| Tableau 4.14 récapitulatif des résultats taux d'O ₂ compartiment 3 et leurs effets | 146 |
| Tableau 4.15 récapitulatif des résultats taux de CO ₂ compartiment 3 et leurs effets | 147 |
| Tableau 4.16 résultats de la température compartiment 1 | 150 |
| Tableau 4.17 Coefficient d'extinction compartiment 1 | 152 |
| Tableau 4.18 Résultats de la température compartiment 2..... | 153 |
| Tableau 4.19 Résultats de la température du compartiment 3..... | 156 |
| Tableau 4.20 coefficient d'extinction des capteurs du compartiment 3 | 157 |

ملخص:

APR يتمثل هذا العمل في إجراء تقييم لسلامة موقف السيارات في المسجد الكبير باستخدام تحليل المخاطر بطريقة لتحديد سيناريوهات الحوادث الكبرى المحتملة واستخلاص منها أن الدخان الناجم عن الحرائق هو الذي يمثل العواقب التي لها تأثير كبير على الجمهور

الحل المقترح هو إنشاء نظام استخراج الدخان الذي قمنا بتحديد حجمه من أجل تحديد معدلات التدفق اللازمة للاستخراج وإمداد الهواء من خلال الحسابات التي يتم ادخالها في برنامج AUTOFLUID وإثبات فعاليته ، استخدمنا برنامج FDS

لإجراء نمذجة ومحاكاة عددية لظاهرة الحريق وللتمكن من تصور سلوك الدخان ومعلماته وأخيرا إستنتاج ظروف الإخلاء العام الملائمة التي يمكن أن يوفرها نظامنا

الكلمات المفتاحية: دخان، أمان ، حريق ، نمذجة ، محاكاة رقمية

Abstract:

This work consists in carrying out a study of the safety of the parking lot of the Great Mosque related to the most dangerous and most feared phenomena that are likely to cause serious consequences on the users of the building.

We started with a risk analysis using the APR method to determine the most likely major accident scenarios. The results obtained show that the fire fumes are the consequences with the most impact on the public.

The proposed solution is to set up a smoke extraction system that we dimensioned in order to determine the necessary flow rates for the extraction and supply of air through calculations obtained using the AUTOFLUID software. In order to demonstrate its effectiveness we used the FDS software which allowed us to carry out a modeling and a numerical simulation of the phenomenon of fire and to visualize the behaviour of the smoke and its parameters and thus to evaluate the effectiveness of the smoke removal system for the evacuation of the public.

Key words: smoke, safety, fire, modeling, numerical simulation.

Résumé :

Ce travail consiste à réaliser une étude de la sécurité du parking de la Grande Mosquée liée aux phénomènes les plus dangereux et les plus redoutés qui sont susceptibles d'engendrer de graves conséquences sur les usagers de l'édifice.

Nous avons commencé d'abord par une analyse des risques à l'aide de la méthode APR pour déterminer les scénarios d'accidents majeurs les plus envisageables. Les résultats obtenus montrent que les fumées d'incendie sont les conséquences ayant le plus d'impacts sur le public.

La solution proposée est de mettre en place un système de désenfumage que nous avons dimensionné afin de déterminer les débits nécessaires pour l'extraction et l'amené d'air à travers des calculs obtenus en utilisant le logiciel AUTOFLUID. Afin de démontrer son efficacité nous avons eu recours au Logiciel FDS qui nous a permis de réaliser une modélisation et une simulation numérique du phénomène d'incendie et de visualiser le comportement de la fumée et de ses paramètres et donc évaluer l'efficacité du système de désenfumage pour l'évacuation du public.

Mots Clés : fumée, Sécurité, incendie, Modélisation, Simulation numérique.

Introduction

Un grand monument dans l'histoire de l'Algérie même dans le monde entier il s'agit de la grande mosquée d'Alger qui est classée le troisième plus grand lieu de culte au monde après, La Mecque et Médine. Cet ouvrage d'art doit être sécurisé de tous les risques auxquels est exposé, mais aussi le plus important c'est d'assurer une protection des personnes qui s'y rendent.

Chaque année, beaucoup d'incendies liés aux établissements recevant du public (ERP) sont recensés à travers le monde et qui engendrent souvent des dégâts humains et matériels considérables. Face à ce défi, des textes réglementaires et des standards stricts régissent ce genre d'établissement.

Notre contribution a pour objectif de comprendre les mécanismes de propagation d'un incendie qui se déclare dans le parking souterrain de la grande mosquée d'Alger et étudier la performance d'un système de désenfumage afin de minimiser les risques.

Avant de commencer notre étude nous allons faire un petit rappel dans le chapitre 1 sur des notions de base qui concernent la classification de la structure étudiée, l'objectif et méthode de désenfumage ainsi que les caractéristiques de la fumée. Nous devons d'abord comprendre le phénomène de propagation du feu, et les étapes par lesquelles passe un incendie et les phénomènes qui seront engendrés, après cela nous allons voir les paramètres qui influencent les mouvements et la dispersion de la fumée.

Un incendie se déclenche toujours par un facteur incitant, dans le chapitre deux nous allons évaluer chaque situation et la décortiquer pour connaître l'origine de cet incendie, nous utiliserons une analyse préliminaire des risques pour estimer chaque risque et proposer des mesures de prévention et des moyens de protection afin de réduire le niveau des risques obtenus, sur cette étude nous allons nous baser sur un retour d'expérience des incendies déjà survenus dans les parkings.

Après avoir déterminé l'origine de l'incendie, nous commencerons le dimensionnement de notre réseau d'incendie dans le chapitre trois. Nous allons d'abord comprendre le principe du dimensionnement des gaines en se basant sur les lois de la réglementation française utilisée pour toutes les études algériennes, après cela nous ferons la mise en place du système de désenfumage sur le plan AutoCAD à travers l'outil et l'extension Autofluid. Nous appliquons l'énoncé réglementaire et on déduira par la suite les notes de calcul à utiliser sur le plan (les débits, le dimensionnement des gaines et des grilles), ainsi que la mise en place finale adaptée à la structure du parking.

La dernière phase de notre étude concerne la modélisation du système de désenfumage à travers FDS, dans le dernier chapitre nous utiliserons le logiciel FDS qui va nous aider à obtenir des résultats du dimensionnement déjà effectués, pour cela on a pris trois scénarios d'analyse des risques et on les a concrétisés sous forme de simulation. Les paramètres choisis pour évaluer notre étude concerneront la température, l'opacité de la fumée, ainsi que les concentrations d'oxygène et de dioxyde de carbone dans les compartiments du parking.

Problématique

L'une des préoccupations les plus importantes dans le domaine de la sécurité incendie c'est de sauver le maximum de personnes qui s'y trouve piégée en plein sinistre. L'un des points sensibles dans ces situations c'est le classement du site en question. Un établissement recevant du public est considéré comme un lieu où tout individu a accès, les personnes qui se rendent dans un ERP ne sont pas amenées à agir en action lors d'un incendie, surtout dans les endroits confinés comme le parking de la grande mosquée d'Alger, où la fumée prend rapidement le dessus. C'est pour cela qu'il faut créer un chemin sécurisé afin de permettre l'évacuation des personnes notamment l'intervention des services de secours.

Les problèmes que notre étude va résoudre sont multiples, à savoir ;

- La détermination de la réglementation en vigueur qui régit ce type d'établissements.
- Les leçons tirées du retour d'expérience des accidents qui se sont déjà survenus dans des établissements similaires.
- Identification de tous les facteurs de risques que l'exploitation du parking peut engendrer.
- Identification des scénarios d'accidents majeurs qui peuvent se produire.
- La diminution des impacts du phénomène dangereux qui persiste le plus : l'incendie ;
- Proposition de solution applicable et efficace pour améliorer la sécurité du public et de faciliter l'opération d'évacuation
- Le dimensionnement de la solution « système de désenfumage » et le respect des contraintes physiques de la structure complexe du parking.
- Modélisation du parking avec le système de désenfumage.
- Simulation numérique du comportement de la fumée d'incendie et de ses paramètres avec et sans système d'extraction.
- Visualisation de l'efficacité et de la performance de notre système dans la diminution des impacts de la fumée d'incendie sur le public

Chapitre 1 : Généralités

1.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons voir les bases du fondement de ce projet, tout ce qui est en relation avec un incendie c'est-à-dire les facteurs qui influence sur un incendie les phénomènes de propagation du feu avec toutes les étapes, du déclenchement de l'incendie vers plusieurs cas d'étude, aussi les modes de propagation de la fumée et les paramètres associée, ainsi que les normes utiliser pour le désenfumage lors d'un incendie.

1.2 Présentation

La Grande mosquée d'Alger qu'on appelle en arabe « *Djamaâ El Djazair* » est un complexe de 377 000 mètres carrés comprenant plusieurs structures dont :

- Une salle de prières, cette salle, de 22 000 mètres carrés, a été conçue pour accueillir 36 000 personnes. Le complexe peut en accueillir 120 000 au total.
- Un minaret comprend 42 étages avec ses 265 mètres de hauteur l'*adhan* (appel à la prière) diffusé depuis le minaret s'entend dans un rayon de 2 à 3 kilomètres. La *soumaah* (sommets du minaret) est aménagée en verrière placée au sommet et comprend 1 200 panneaux fixés à une charpente métallique.
- Une cour aussi grande que la salle de prières, où 44 arbres, des caoutchoucs, ont été plantés autour de quatre bassins à jets d'eau. Sous le sol, se trouve une bache d'eau de 6 500 mètres cubes où aboutissent les eaux pluviales récupérées pour l'arrosage.
- Une esplanade de commerces et de services : restaurants et cafétérias, boutiques d'artisanat, infirmerie, bureau de poste, garderie pour enfants, salles de projections et de conférences. Au sous-sol, un parking de deux niveaux pourra accueillir 4 000 véhicules.
- 14 hectares de parc et un « jardin islamique »
- Un centre culturel
- Un institut supérieur pour 300 doctorants
- Une bibliothèque prévue pour recevoir un million d'ouvrages.

1.3 Définition de la structure étudié

1.3.1 Etablissement recevant du public (ERP) :

On parle d'un ERP lorsque ce dernier permet un accès à des personnes qui sont tierces à cet établissement, c'est-à-dire toute personne en dehors des salariés, un établissement recevant du public peut concerner tous les lieux publics ou privés telle que les écoles, bibliothèques, universités, hôtels, restaurants, hôpitaux...etc. Un ERP n'est pas forcément un immeuble, il peut être un chapiteau ou gradin [1].

Les ERP sont classées par leurs types (la nature de l'activité) et leurs catégories (en fonction de la capacité d'accueil) :

⇒ Le classement des ERP par type est codifié par des lettres qui renvoient à l'activité de l'établissement :

Tableau 1.1 classement des ERP par type

| Code | Etablissements installés dans un bâtiment |
|------|--|
| J | Structures d'accueil pour personnes âgées et personne handicapées. |
| L | Salle d'audition, conférences, réunions, spectacles ou à usages multiples. |
| M | Magasins, centres commerciaux |
| N | Restaurants, débits de boissons |
| O | Hôtels, pensions de famille |
| P | Salles de danses, salles de jeux |
| R | Etablissements d'enseignement, colonies de vacances |
| S | Bibliothèques, centre de documentation |
| T | Salle d'exposition |
| U | Etablissements sanitaires |
| V | Etablissements de culte |
| W | Administrations, banques, bureaux |
| X | Etablissements sportifs couverts |
| Y | Musées |

Tableau 1.2 classement des ERP par type

| | |
|-------|---------------------------------|
| Codes | Etablissements spéciaux |
| EF | Etablissements flottants |
| GA | Gares |
| PA | Etablissements de plein air |
| PS | Parcs de stationnement couverts |
| SG | Structures gonflables |
| CTS | Chapiteaux et tentes |

Tableau 1.3 Le classement des ERP par catégories

| ERP du premier groupe (grands établissements) | |
|--|--|
| Catégories | L'effectif du public |
| 1ere catégorie | au-dessus de 1500 personnes |
| 2eme catégorie | de 701 à 1500 personnes |
| 3eme catégorie | de 301 à 700 personnes |
| 4eme catégorie | 300 personnes et au-dessous, a l'exception des établissements compris dans la 5eme catégorie |
| ERP du deuxième groupe (petits établissements) | |
| 5eme catégorie | Etablissements dans lesquels l'effectif du public n'atteint pas le seuil fixé par le règlement de sécurité pour chaque type d'exploitation |
| REF | Refuge de montagne |

- ⇒ Le classement des ERP par catégories d'après l'effectif du public et du personnel :
L'effectif du public peut être déterminé selon :
- Le nombre de places assises
 - La surface réservée au public
 - La déclaration contrôlée du chef de l'établissement

1.3.2 La réglementation Sécurité incendie dans les ERP

La réglementation de la sécurité incendie est issue de deux principaux textes :

- Le code de la construction et de l'habitation (CCH)
- Le règlement de sécurité

Le CCH définit les principes généraux de la réglementation sécurité incendies et la protection contre le risque de panique dans les ERP ils sont fixes par les articles R123-2 jusqu'à R123-17 parmi ces principes on trouve :

- ⇒ Concevoir l'établissement de manière à faciliter l'évacuation des personnes et l'intervention des secours.
- ⇒ Désenfumer les locaux afin de :
 - Rendre praticables les cheminements utilisés pour l'évacuation du public et l'intervention des secours.
 - Limiter la propagation de l'incendie en évacuant vers l'extérieur chaleur, gaz et imbrulés.
- ⇒ S'assurer de la conformité des installations électriques.
- ⇒ Prévoir un éclairage de sécurité afin de permettre une évacuation facile du public.

- ⇒ Doter l'établissement de dispositifs d'alarme et d'avertissement, d'un service de surveillance et de moyens de secours contre l'incendie.
 - ⇒ Veiller à un entretien et une maintenance correcte des installations
- Remarque : la réglementation en Algérie n'a pas encore entamé cette catégorie d'établissement néanmoins on peut se réfère à Loi n° 19-02 du 14 Dhou El Kaâda 1440 correspondant au 17 juillet 2019 relative aux règles générales de prévention des risques d'incendie et de panique.

1.4 L'incendie

L'incendie est un phénomène de combustion non maîtrisé dans le temps et dans l'espace, dont la caractéristique principale est de se propager rapidement, qui engendre de grandes quantités de chaleur, des fumées et des gaz polluants, voire toxiques.

Un incendie ne peut survenir que si trois facteurs sont réunis et qui sont regroupés dans le « triangle du feu » : un combustible, un comburant et une énergie d'activation.

Le combustible : il s'agit de toute matière qui peut être unie à l'oxygène en autre terme toute substances qui brûlent en présence des deux éléments du triangle, on peut la trouver sous l'état solide, liquide, ou gazeuse.

Le comburant : c'est l'oxygène qui est dans l'air, il constitue environ 21%, pour que l'air soit un comburant efficace pour le combustible il doit contenir au minimum 15% d'oxygène, ce dernier possède une grande affinité avec de nombreux corps au cours de la réaction il ne brûle pas mais se combine avec d'autres particules pour donner naissance à de nouveaux produits.

L'énergie d'activation : elle est indispensable, il s'agit d'un apport d'énergie qui peut être sous plusieurs formes une étincelle, une flamme, une source de chaleur... etc. un incendie s'alimente de lui-même en énergie d'activation en raison de la quantité de chaleur dégagée par la réaction.

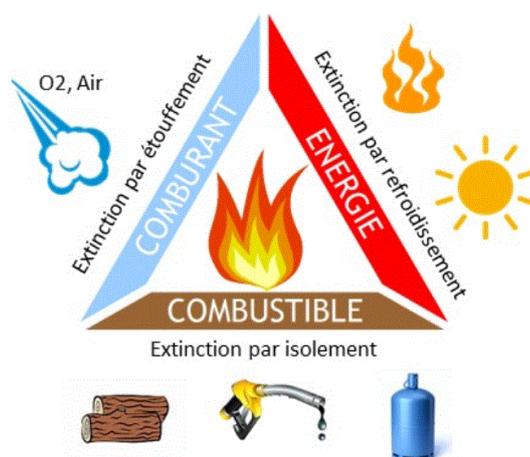


Figure 1.1 triangle du feu [2]

1.4.1 L'évacuation du public lors d'un incendie

La conception du dégagement ou l'évacuation du public est primordiale dans un ERP, elle permet d'assurer une évacuation rapide et sûre en faisant appliquer une circulation organisée, à une sortie donnant sur l'extérieur ou un dégagement protégé [1]

→ **Les unités de passage** ou le dimensionnement des portes de sortie 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.

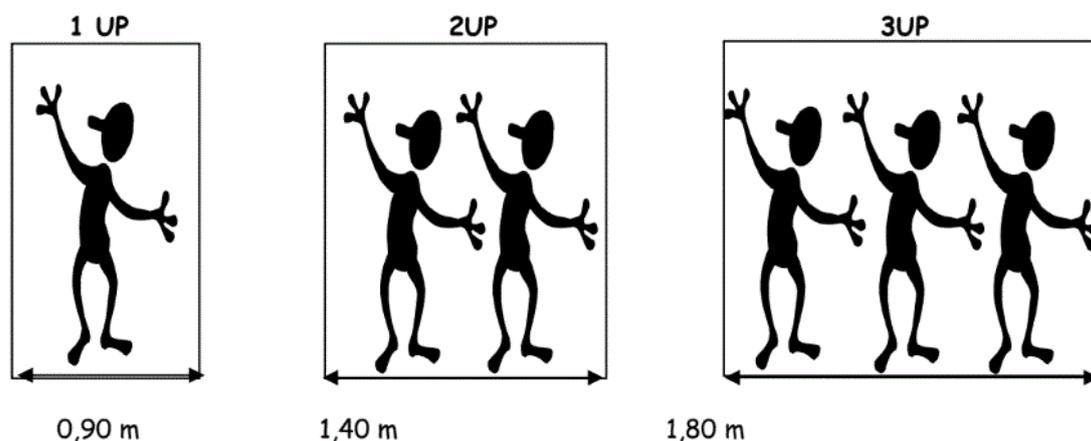


Figure 1.2 Représentation de calcul de l'unité de passage

→ **Balisage** les cheminements empruntés par le public pour l'évacuation doivent être perceptibles de jour comme de nuit et pour cela ils sont balisés par des indications bien lisibles. 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.

→ **Répartition des sorties** la distance maximum que le public doit parcourir, 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.

→ **La manœuvre des portes** en présence du public, toutes les portes doivent pouvoir s'ouvrir par simple poussée munie d'un dispositif qui représente une barre anti-panique, ces portes s'ouvrent obligatoirement en va-et-vient. Elles doivent comporter une partie vitrée à hauteur de vue.

→ **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 :

- Etre 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.

→ **La répartition des 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, ces escaliers doivent être protégées par un enclouement.

1.4.2 Taux de dégagement de chaleur (HRR)

Nommé le Heat Release Rate est mesuré en Watt, kW et MW par définition ce paramètre représente la quantité d'énergie dégagée lors d'une réaction de la combustion par unité de temps, cette énergie est dissipée. Dans un compartiment fermé, l'énergie est généralement dissipée en raison de la conduction à travers les murs, donc en d'autres termes ce facteur a une relation avec la résistance de la structure, cette résistance plus elle est grande et plus le public aura le temps d'évacuer les lieux sans que la structure s'effondre. [6]

⇒ *Facteurs contrôlant le taux de dégagement de chaleur :*

Le HRR dépend principalement du type, de la quantité, et de l'arrangement des matériaux combustible aussi du degré de confinement.

Le taux de masse perdue est la quantité de matière ayant été vaporisée et brûlée, il est exprimé en kg/s, mais peut quelque fois être exprimé par unité de surface (kg/m²), il est lié au taux de dégagement de chaleur par la relation :

$$\dot{m}'' = \frac{\dot{q}''}{\Delta H_g}$$

Avec :

\dot{q}'' : Flux de chaleur de la flamme

ΔH_g : Chaleur de gazéification

⇒ *Effets de confinement :*

Lorsqu'un objet brûle à l'intérieur d'une enceinte, deux facteurs influencent principalement l'énergie dégagée ou taux de dégagement de chaleur :

Premièrement, les gaz chauds vont s'accumuler au niveau du plafond et chauffer le plafond et les murs, la couche de gaz chaud rayonnera de la chaleur vers la surface du combustible, améliorant ainsi le taux de dégagement de chaleur.

Deuxièmement, le confinement peut limiter la disponibilité de l'oxygène nécessaire à la combustion. Cela entraîne une diminution de la quantité de carburant brûlé, ce qui entraînera une diminution du taux de dégagement de chaleur et à une augmentation de la concentration des gaz imbrûlés.

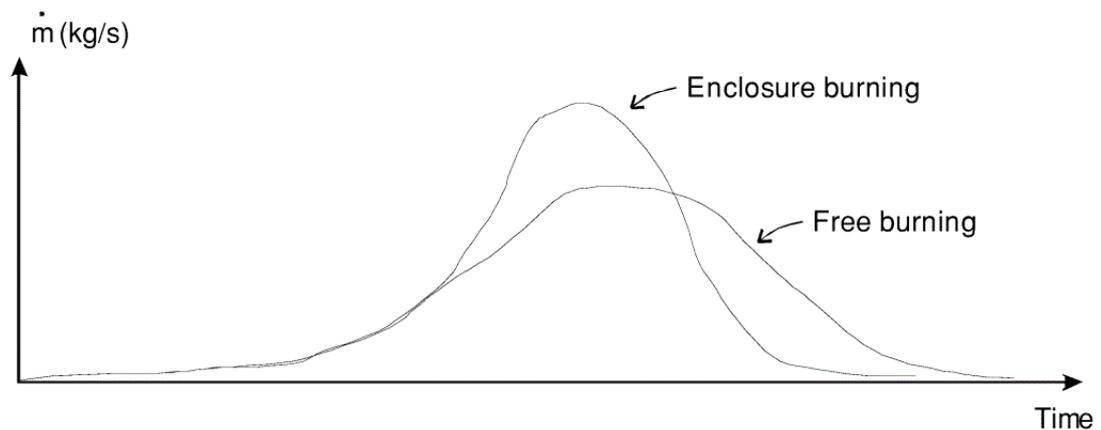


Figure 1.3: Effet de confinement sur le taux de masse perdue [7]

1.5 La fumée

Les fumées représentent l'un des dangers majeurs dans un incendie, 80% des décès lors d'incendies sont en relation avec l'inhalation des fumées, elle altère la respiration et empêche la localisation de l'origine de l'incendie.

1.5.1 Caractéristique de la fumée

La fumée est un nuage qui se compose de plusieurs états de la matière on peut y trouver des particules solides imbrûlées, aussi de gaz de combustion et des condensats divers ou de l'aérosol.

La taille des particules de fumée peut varier entre 0,01 et 10 μ . La couleur résultante nous renseigne sur la composition : fumée blanche révélatrice d'aérosols et de vapeur d'eau, fumée grise pour les mélanges d'aérosols et de particules solides, enfin fumée noire pour les grosses particules solides. Le débit des fumées dépend de la surface du feu, de la température et de la hauteur des flammes, et de l'épaisseur de la couche de fumée. La vitesse horizontale du front de fumées est de l'ordre de 0,20 m/s à 1 m/s [3]

Les fumées ont tendance à occuper le maximum de volume et à créer une légère surpression dans le local incendié. Elles sont sujettes à un tirage thermique vertical favorisant leur migration

dans les étages supérieurs. Si ces paramètres influents directement sur l'opacité et le mode de déplacement des fumées, ils ne donnent aucune information sur des dangers réels dus à la température et la présence de gaz toxiques associés à un éventuel manque d'oxygène.

1.6 Le désenfumage

Les dispositifs de désenfumage permettent de lutter contre la propagation des flammes, de la fumée et des gaz. En effet, ces derniers doivent être évacués le plus rapidement possible car ils sont dangereux et peuvent gêner l'évacuation des occupants et l'intervention des secours.

1.6.1 Les objectifs de désenfumage

L'objectif principale du désenfumage est d'extraire des locaux incendiés une partie des fumées, de gaz de combustion, et de limiter la propagation du feu, pour cela le désenfumage doit maintenir une visibilité suffisante, diminuer la teneur des gaz toxiques, conserver un taux d'oxygène acceptable et empêcher l'élévation de température, par apport d'air frais.

1.6.2 Méthodes d'extraction de fumée

Les systèmes de désenfumage sont un élément essentiel et souvent obligatoire des plans de défense contre l'incendie. Ils créent des zones « sans fumée » qui permettent aux occupants de s'échapper, Il existe des systèmes adaptés à tous les types de bâtiments les fumées d'incendie peuvent être extraits de deux manières :

⇒ De manière naturelle (exutoires et ouvrants) :

Le principe du désenfumage naturel est relativement simple, il est réalisé par des amenées d'air naturelles et des systèmes d'évacuation des fumées, communiquant avec l'extérieur, soit directement soit par l'intermédiaire de conduits, les fumées et la chaleur montent et sortent du bâtiment par des ouvertures situées en partie haute, l'air frais entre en partie basse pour créer une hauteur d'air sous la couche de fumée, permettant aux occupants de s'échapper et réduisant la contrainte thermique sur la structure. Les ouvrants peuvent se situer dans le toit ou la façade, généralement associés à un écran de cantonnement qui limite la propagation des fumées, ou à un conduit de désenfumage naturel.

Ces ouvertures sont disposées de manières à assurer un balayage satisfaisant du local.

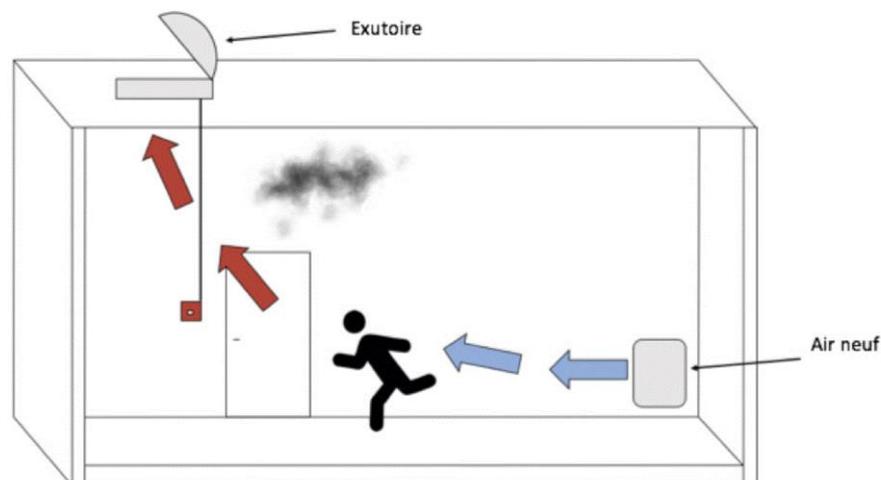


Figure 1.4 Désenfumage par tirage naturel

⇒ De manière mécanique (ventilation) :

Les systèmes de désenfumage mécanique utilisent des aérateurs électriques et des conduits de désenfumage pour évacuer les fumées et la chaleur par le haut du bâtiment et remplacer l'air intérieur par de l'air frais extérieur. Ils permettent un désenfumage efficace sur plusieurs étages et sur de longues distances.

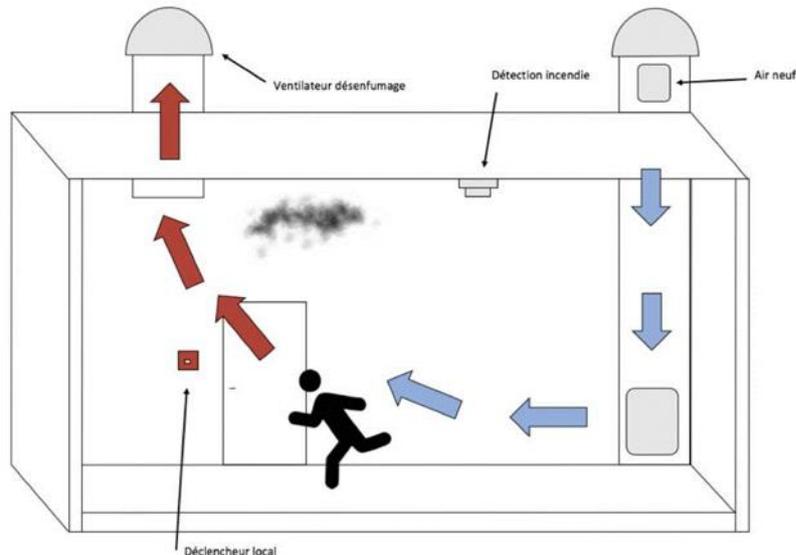


Figure 1.5 Désenfumage par tirage mécanique

Le désenfumage par tirage mécanique est assuré par des extractions mécaniques de fumées et des amenées d'air naturelles ou mécaniques disposées de manière à assurer un balayage du volume à désenfumer. Ce balayage peut être ajouté par une mise en surpression relative de la surface à protéger des fumées. Lorsque les circulations horizontales sont mises en surpression, les escaliers encloués doivent l'être également. Les extractions et amenées d'air mécaniques sont réalisées au moyen de bouches reliées par des conduits à des ventilateurs. Un système de ventilation permanente (renouvellement d'air, chauffage ou conditionnement d'air) peut être utilisé pour le désenfumage.

Le désenfumage mécanique ne doit jamais être utilisé pour désenfumer des escaliers car l'accès aux étages du bâtiment serait impossible en cas de non-fonctionnement du ventilateur. Le désenfumage mécanique est conditionné par une très bonne maîtrise des débits d'évacuation des fumées et d'amenée d'air. Il repose, en conséquence, sur une sélection rigoureuse des ventilateurs de désenfumage qui doivent résister aux hautes températures. Les ventilateurs doivent être dimensionnés en tenant compte des deux autres composants du système de désenfumage :

- Les caractéristiques des volets d'amenée d'air et les volets d'évacuation des fumées qui créent des pertes de charges aérauliques.
- La géométrie du réseau de conduits de désenfumage.

En règle générale, au fur et à mesure que les bâtiments gagnent en hauteur, la prescription passe de l'évacuation naturelle à l'extraction mécanique.

1.6.3 Réglementation désenfumage

La vitesse de passage de l'air aux amenées d'air doit toujours être inférieure à 5 m/s, les amenées d'air mécaniques doivent avoir un débit de l'ordre de 0,6 fois le débit extrait.

- Ces différentes bouches sont équipées de volets fermés en position d'attente : les ventilateurs de soufflage et d'extraction doivent être dimensionnés en fonction des caractéristiques du réseau et pour un débit égal au débit nominal augmenté du débit de fuite tolérable (de l'ordre de 20 %).
- Les ventilateurs doivent être commandés par un coffret de relaying conforme à la norme NF EN 12101-3.
- Les ventilateurs d'extraction et leur liaison avec les conduits doivent assurer leur fonction pendant une heure avec des fumées à 400 °C, et elles doivent aussi assurer un débit minimal de renouvellement d'air de 15 volumes par heures.
- Les conduits d'extraction et d'amenée d'air mécanique doivent présenter une étanchéité satisfaisante à l'air. [8]

⇒ Normes utilisées pour le désenfumage naturel :

- EN 12101-2 : Norme européenne pour les dispositifs d'évacuation naturelle de fumées.
- NF S 61.930 : Systèmes concourant à la sécurité contre les risques d'incendie.
- NF S 61.931 : Dispositions générales.
- NF S 61.932 : Règles d'installation.
- NF S 61.933 : Règles d'exploitation et de maintenance.
- NF S 61.934 : Centralisateurs de Mise en Sécurité Incendie.
- NF S 61.935 : Unité de Signalisation
- NF S 61.937-1 : DAS : Prescriptions générales.
- NF S 61.938 : Dispositifs de commande.
- NF S 61.939 : Alimentations Pneumatiques de Sécurité
- Référentiel APSAD R17

Ce référentiel concerne les systèmes de désenfumage naturel installés dans tous types de bâtiments. Il s'applique aux établissements pour lesquels une installation de désenfumage naturel est imposée par la réglementation ainsi qu'à tout autre bâtiment industriel et commercial sur demande du prescripteur. Il définit les exigences relatives à la conception, à l'installation et à la maintenance des dispositifs d'évacuation naturelle des fumées et de chaleur (exutoires de fumées et de chaleur et ouvrants de façade).

1.7 Phénomène de propagation d'un incendie dans les milieux confinés

Il est nécessaire d'étudier le développement d'un incendie afin de mieux prévoir les instruments de sécurité adapté au bon endroit, et pour que les personnes interviennent et agisse de manière adéquate pour limite les dégâts et assurée la protection des individus présente, mais on ne peut décrire et prévoir la manière dont un incendie se propage et se développe.

Toutefois il est possible d'identifier différentes phases types de développement d'un incendie et cela grâce aux expériences vécues et aux incendies déjà étudié, ces phénomènes de propagation peuvent évoluer de manière différente en fonction de la ventilation des locaux, de l'infrastructure et des produits de combustion et leurs agencements

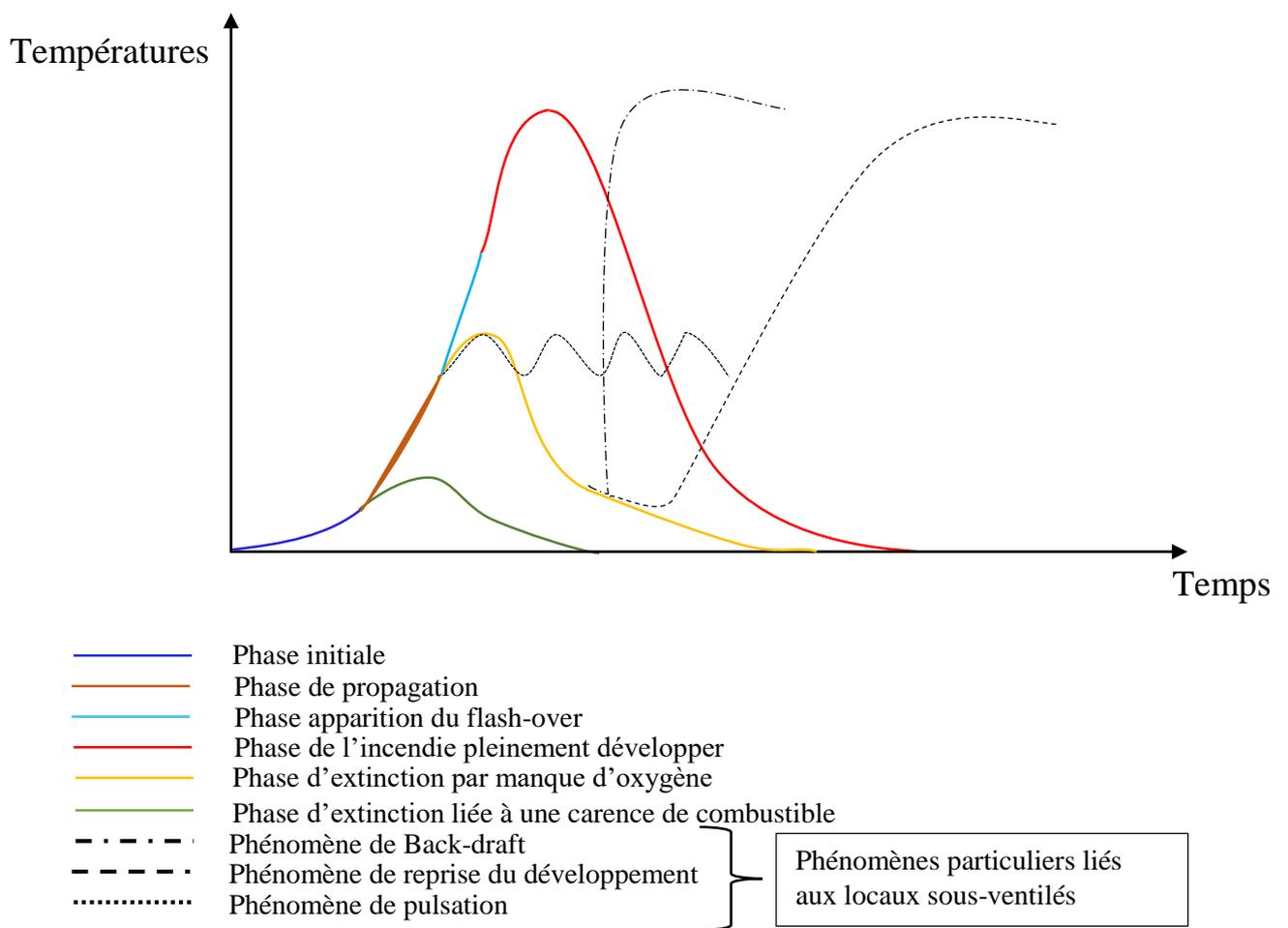


Figure 1.6 Les évolutions possibles d'un incendie en milieu confiné [5]

1.7.1 Phase initiale

Durant cette phase le plus important est de comprendre l'origine du départ de l'incendie en se basant sur le retour d'expérience, c'est-à-dire de déterminer la cause de l'incendie.

Les causes peuvent être diverse et cela dépende des installations et du matérielle utilisée par exemple dans le cas des parkings souterraine les cause sont les même que celle d'un tunnel et sont souvent provoqués par des accidents de voiture ou par auto-échauffement d'éléments mécaniques.

Un apport suffisant de chaleur ou d'énergie permet l'échauffement de l'élément combustible jusqu'à une température d'auto-inflammation là où la réaction de combustion s'amorce ce processus peut être très rapide ou très lent selon l'état physique du combustible (gaz, liquide ou solide).

1.7.2 Phase de propagation

Elle se traduit par une accélération de la montée en température dans le local, l'un des critères les plus importants qui permet ou non la propagation de l'incendie c'est la disposition des éléments combustible, ce qui veut dire que si la quantité combustible initiateur de l'incendie est faible ça implique que le flux de chaleur dégager est insuffisant pour augmenter la température des autres combustibles et initier leur combustion.

Ce qui nous emmène vers un déclin et une extinction de l'incendie par un manque de combustible.

La propagation de l'incendie peut se faire de deux façons soit par transmission de chaleur, soit par déplacement des substances en combustion, dans la plupart des incendie la propagation se fait par transmission de chaleur :

- a) **Par rayonnement** : la chaleur dégagée par la combustion est partiellement restituée à l'environnement par rayonnement thermique.
- b) **Par conduction** : la chaleur se transmet dans la masse du matériau. Cette transmission se fait de proche en proche sans transfert de matière
- c) **Par convection** : Ce mode de propagation est plus courant en milieu confiné, le transport de la chaleur se fait par mouvement des gaz chauds dans le sens des pressions les plus élevées vers les pressions les plus faibles.

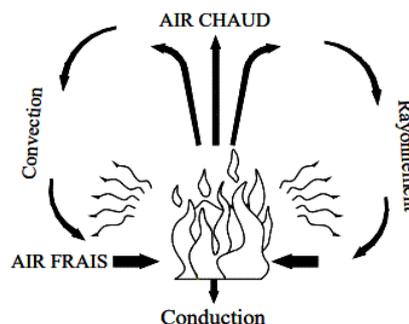


Figure 1.7 Principe de propagation de la combustion par transmission de chaleur

1.7.3 Le flash over

L'embrasement généralisé éclair (EGE), ou flashover en anglais, est un phénomène thermique, une phase du développement d'un feu dans un local semi-ouvert à une température qui survient aux alentours de 500°C.

Au cours du développement du feu, on constate une formation d'une couche chaude de gaz combustibles et de fumées située en partie supérieure du local, d'autre part, une couche froide plutôt constituée d'air frais et située en partie basse de la pièce.

Ces deux couches sont formées que si le local est suffisamment ventilé pour alimenter le feu en oxygène lors de sa phase de croissance et que la quantité de combustibles est suffisante par rapport au volume de la pièce, dans ce cas, les conditions sont réunies pour engendrer le flashover.

Dans le cas contraire ou les conditions précédentes ne sont pas réunies le feu se dirige vers une extinction et il risque de manquer d'air assez rapidement ce qui va engendrer l'apparition d'un feu couvant et une diminution des températures dans la pièce, Cette phase est en générale à l'origine d'une production importante de gaz imbrûlés et de substances dangereuses.

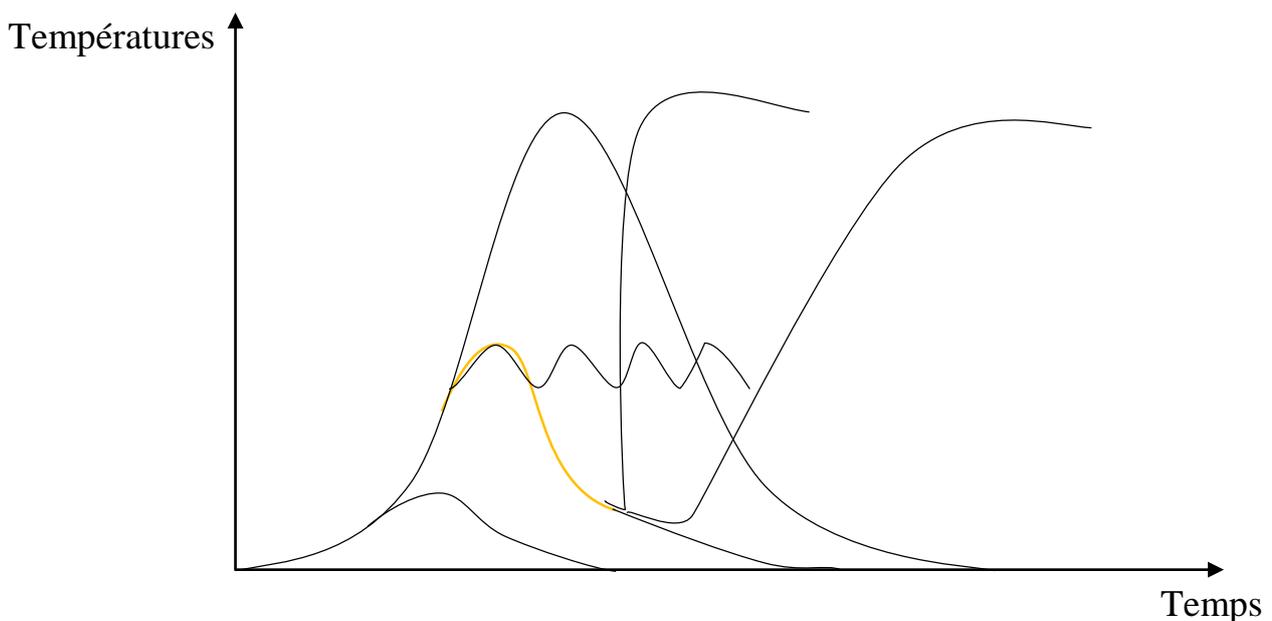


Figure 1.8 Extinction par manque d'oxygène

Parmi les indicateurs qui peuvent être des événements annonciateurs d'un flash-over et qui peuvent nous alerter d'un danger imminent on y trouve :

- La présence d'ouvertures dans le local permettant d'alimenter continuellement en air le feu,
- La visualisation de flammes locales bien jaunes
- Une chaleur intense due aux températures excessives

1.7.4 L'incendie pleinement développer

Cette étape vient après l'embrasement généralisé éclair, elle représente le pic de puissance de l'incendie, ça température est de l'ordre de 800-900°C, cette phase suppose que l'air frais dans le local est suffisant pour assurer la combustion de l'ensemble des matériaux inflammables contenus dans l'enceinte en feu.

Ici le risque de propagation du feu d'un local à un autre est le plus important à travers la convection des fumées qui transporte une quantité d'énergie importante capable d'aller enflammer les combustibles contenus dans les pièces voisine.

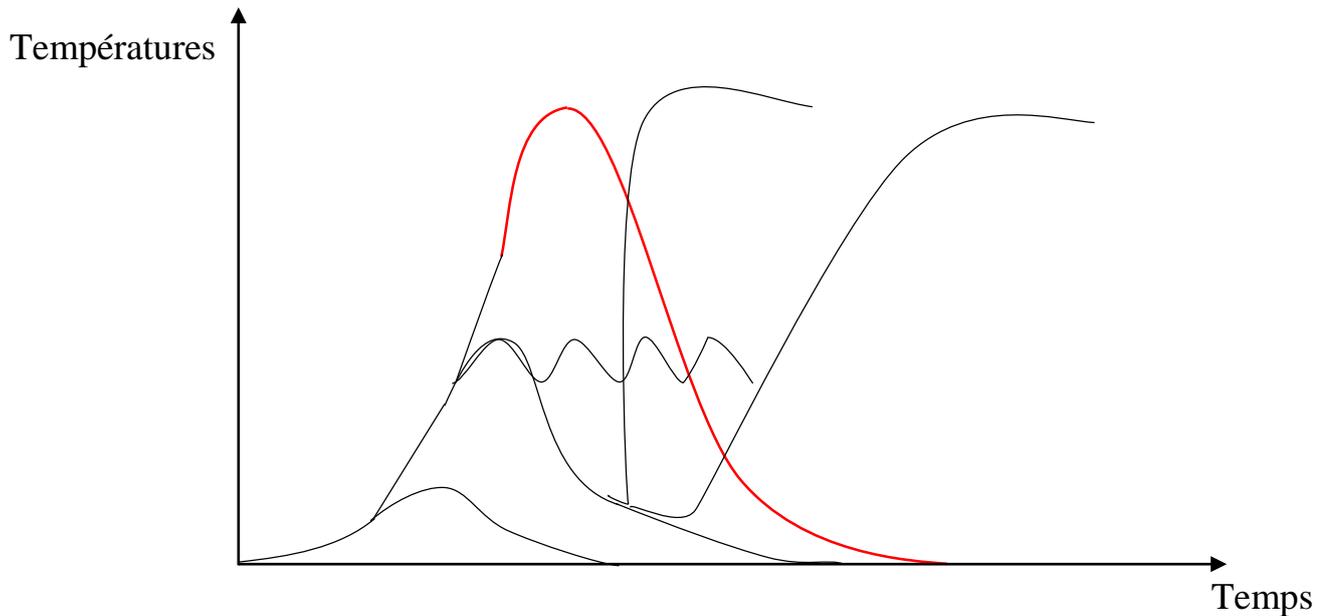


Figure 1.9 Phase de l'incendie pleinement développée

1.7.6 Le Back-draft

Les conditions d'occurrence de ce phénomène sont très courantes dans les locaux confinés il s'agit au départ du développement du feu initialement a partie du peu d'oxygène présent dans la pièce à travers les légères entrées d'air sous la porte par exemple puis la combustion va rapidement manquer d'air, cette situation désigne typiquement un feu couvant qui génère des produits de combustion incomplète et des suies.

La chaleur accumulée lors du développement de l'incendie peut également entretenir la vaporisation continue d'un combustible, créant ainsi une grande quantité d'imbrûlés, si le feu ne s'éteint pas complètement et s'il reste quelques points d'incandescence, il ne manque plus que l'oxygène pour génère une réaction de combustion.

L'entrée d'air brutale dans la pièce peut s'obtenir de différentes façons :

- soit par le bris d'une fenêtre sous l'effet de la chaleur ou de l'action volontaire des pompiers
- soit par l'ouverture malencontreuse d'une porte.

⇒ *Le déroulement du processus Back-draft :*

- a) Un courant d'air frais s'écoulera par gravité dans le local tandis que les gaz, riches en combustibles, plus chauds, s'évacueront vers l'extérieur par la partie haute de l'ouverture.
- b) L'air et les gaz riches en combustibles se mélangeront localement, un mélange inflammable se forme, une déflagration peut se produire dès que le mélange entre en contact avec une source d'inflammation.
- c) La déflagration provoquera le réchauffement des gaz et leur expansion, poussant ainsi les gaz imbrûlés à l'extérieur du local devant le front de flamme.
- d) Ces gaz se mélangeront avec l'air extérieur comme la flamme traverse le local et passe par l'ouverture, elle enflamme au passage ce mélange provoquant ainsi l'occurrence d'une boule de feu et d'une onde de pression.
- e) Le back-draft est désigné d'ailleurs assez souvent comme une explosion de fumées dans lesquelles il y a des imbrûlés.

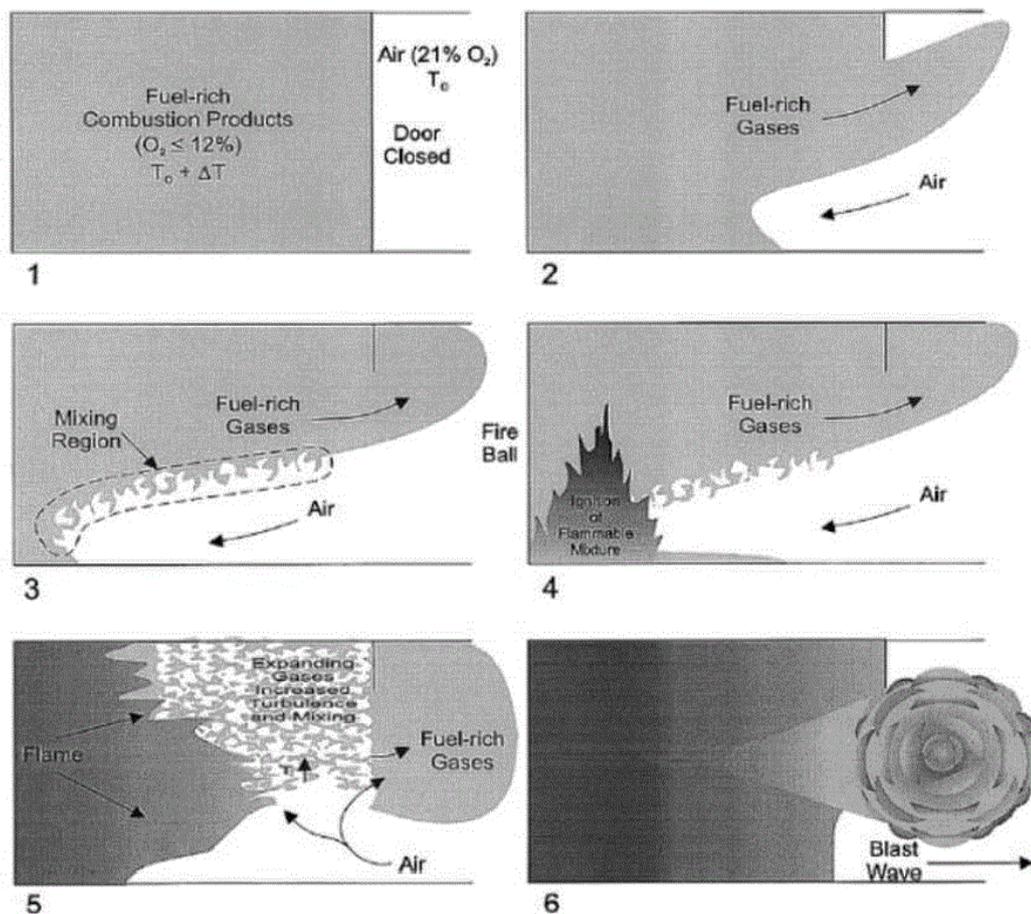


Figure 1.10 Le développement d'un backdraft. (Graphic : Gottuk 1999) [8]

⇒ *Les évènements annonciateurs d'un Back-draft :*

Certains évènements peuvent nous avertir du risque d'occurrence du Back-draft tels que :

- la présence de fumée noire devenant gris jaune qui désigne une combustion incomplète
- une chaleur excessive due au confinement de l'incendie.
- évacuation par les quelques interstices (fente sous la porte par exemple) de fumées noires de suies par bouffée en raison de la convection et de la turbulence
- mouvements d'air soudains et rapides
- pas de flammes visibles, seules des flammes bleutées : feu couvant.

Si ces signes précurseurs sont reconnus à temps avant que le phénomène de backdraft ne se déclenche, des conditions particulières d'intervention sont à prévoir.

1.7.7 Phénomène de pulsation

Ce phénomène est caractérisé par une oscillation de la température du local, cette oscillation est due suite au manque d'oxygène la température dans le local se met alors à chuter ce qui implique une diminution du volume de gaz dans le local qui se traduit par une pression négative et qui entraîne une amenée d'air de l'extérieur par les ouvertures disponibles vers l'intérieur.

Cet air permet alors une reprise de la combustion générant une augmentation de la température du local, et donc une dilatation des gaz créant une pression positive dans l'enceinte chassant les fumées vers l'extérieur ainsi que l'oxygène encore disponible. La puissance chute alors de nouveau et le processus se répète alors successivement, ce qui conduit à la pulsation observée.

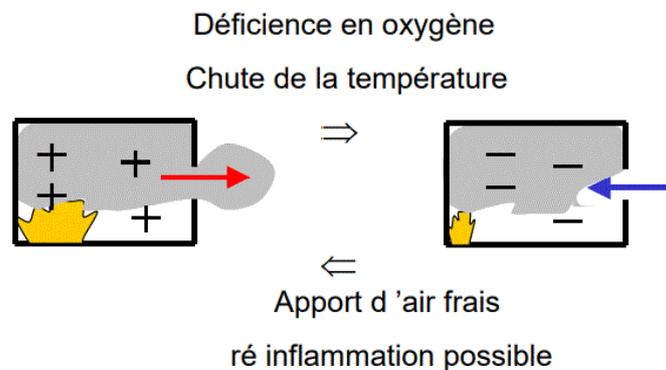


Figure 1.11 *Effects of pressure at the origin of the pulsation phenomenon*

1.7.8 Phénomène de reprise du développement

Cette étape est similaire à la phase d'apparition du Back-draft suite à un apport soudain d'air frais dans le local à l'exception que la température initiale des imbrûlés est supérieure à leur température d'auto-inflammation.

Ces gaz s'enflamment donc rapidement et n'a donc pas le temps de réaliser le phénomène explosif comme le Back-draft et donc il n'apparaît pas et s'apparente plutôt au phénomène du flash-over.

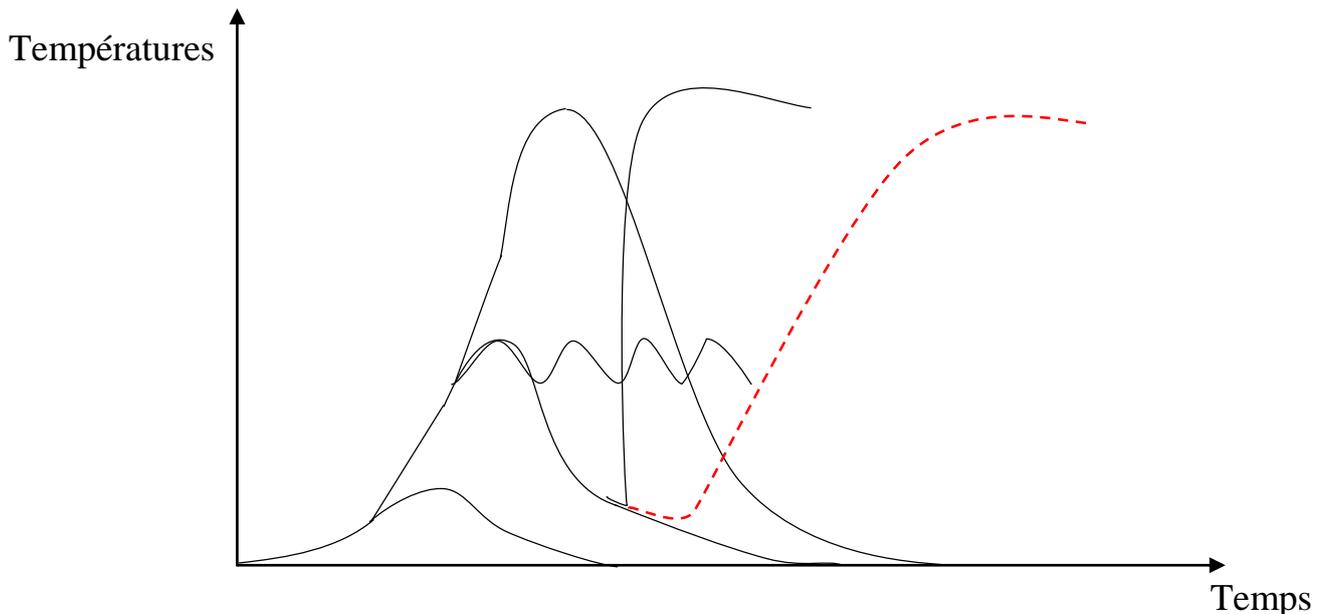


Figure 1.12 Phénomène Reprise du développement

1.8 Phénomène et mode de propagation des fumées

Le déplacement des fumées est très difficile à prévoir, son mouvement est purement turbulent, instable et instationnaire, il est contrôlé par un mécanisme de convection naturelle et des mécanismes de convection forcée (vent, ventilation mécanique).

Comme on a dit précédemment les fumées représentent un risque non seulement par sa composition toxique mais aussi par les risques d'embrassement généralisé et d'explosion de fumée, donc il est essentiel de bien comprendre le mouvement de la fumée, cette dernière est influencée par plusieurs facteurs (structures ou d'obstacles) qui faut tenir en compte lors de l'étude qui sont :

- Des ouvertures présentes.
- Disposition des pièces, types de plafonds, ouvertures verticales.
- Des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation.

La propagation de la fumée dépend aussi des caractéristiques physiques de la fumée (température, concentration, vitesse...), de celles du gaz environnant (vitesse, présence de vent, composition chimique...). [9]

Les forces qui conduisent les fumées sont la conséquence de plusieurs phénomènes :

- Les forces de flottabilité (poussée d'Archimède et la gravité).
- La dilatation thermique.
- La surpression causée par le feu.
- Effet de cheminée (Stackeffect).

1.8.1 Les forces de flottabilité

Au cours d'un incendie la densité de l'air et des produits combustibles diminue à cause de la chaleur produite par le feu, ce réchauffement crée un courant ascendant d'air chaud et des produits de combustion (fumées), étant plus légers que l'air frais ce dernier remonte sous l'effet de la poussée d'Archimède, qui est une force permettant d'élever les objets dont la densité est plus faible que celle de l'air. [6]

Contrairement à l'air frais qui est plus dense la gravité provoque sa descente et alimente ainsi le feu à sa base, la différence de densité entre l'air chaud et l'air froid engendre des mouvements de convection, c'est-à-dire des déplacements d'air causés par des différences de températures

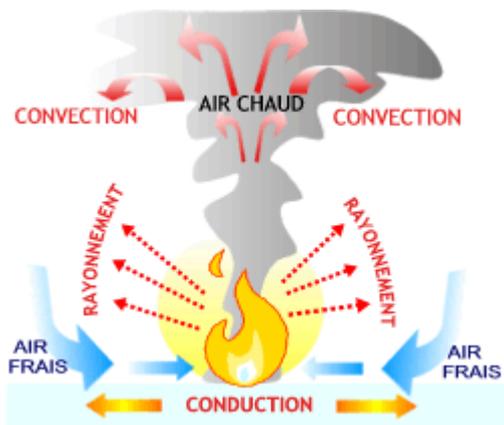


Figure 1.13 Mouvement de la fumée



Figure 1.14 Poussée d'Archimède

Les deux forces opposées expliquent des phénomènes comme la forme pointue des flammes en V inversé d'un panache de fumée et la propagation d'un incendie aux étages supérieurs d'un bâtiment, et même aussi l'effet de roulement de la fumée au plafond, lorsque la fumée transmet sa chaleur au plafond par diffusion, provoquant ainsi son refroidissement et sa descente. En descendant, la fumée refroidie se mélange encore par diffusion avec les gaz chauds qui montent, ce qui la fait monter à nouveau. Ce mouvement de montée/descente continue jusqu'à ce que le plafond ait atteint la même température que la fumée.

1.8.2 La surpression causée par le feu

L'accumulation des fumées au plafond crée une surpression en hauteur, cette dernière engendre une baisse de pression au niveau bas du sol cela est expliqué par la loi des gaz parfaits ($PV=nRT$), cette différence de pression cause un mouvement d'aspiration d'air frais (un appel d'air). Lorsqu'un équilibre de pression est atteint, c'est-à-dire lorsqu'il y a autant de fumée qui quitte la pièce que d'air frais entre, le niveau de la couche de fumée se stabilise.

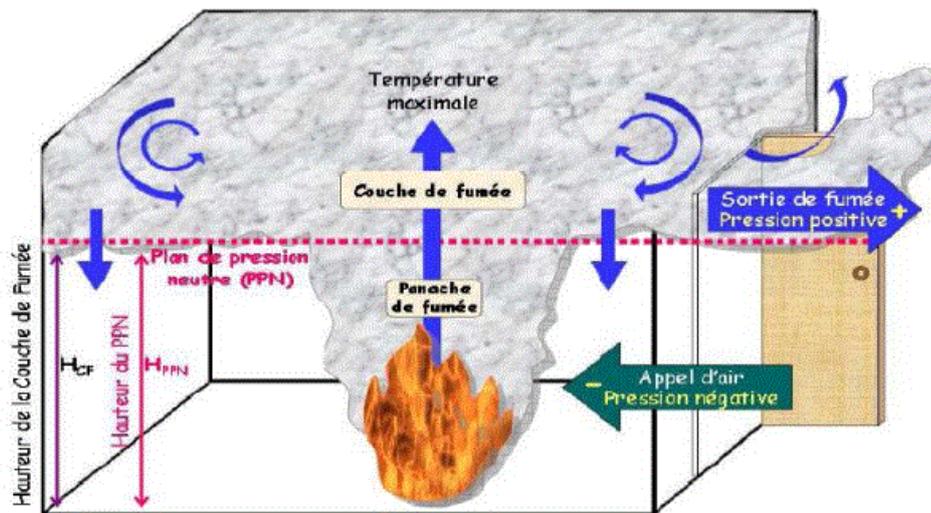


Figure 1.15 Mouvement d'air par différence de pression dans un milieu fermé [11]

1.8.3 La dilatation thermique

La température correspond au degré d'agitation des particules qui composent une substance. Plus le mouvement de ces particules augmente, plus la température est élevée. Conséquemment, les particules tendent alors à occuper un plus grand espace en raison de l'amplification de leurs mouvements. Il en résulte alors une augmentation de volume.

Lors d'un incendie la chaleur augmente la température de l'air qui induit à une agitation des molécules gazeuses créant ainsi une dilatation de leur volume, selon la loi des gaz parfaits, un gaz se dilaterait à 1/273 de son volume initial pour chaque élévation de température de 1K à pression constante. [6]

Le phénomène de dilatation thermique explique en partie la rapidité de propagation de la fumée, de même que l'abaissement de la couche de fumée dans un milieu fermé.

1.8.4 Les différences de pression en fonction de la hauteur d'un bâtiment (l'effet cheminé)

L'effet de cheminée est un phénomène important, les concepteurs des systèmes de contrôle des fumées doivent absolument en tenir compte, la fumée a tendance à se propager vers les étages supérieurs par les ouvertures verticales (telles que les cages d'escaliers et les ascenseurs). On compare cet appel d'air dans les cages ouvertes à celui d'un effet de tirage dans une cheminée, c'est pourquoi il est nommé « effet de cheminée » ou aussi « effet de tirage », il est dû à une différence de pression qui induit un appel d'air du bas vers le haut, Cet effet dépend essentiellement de deux facteurs : la hauteur du bâtiment, de même que la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur.

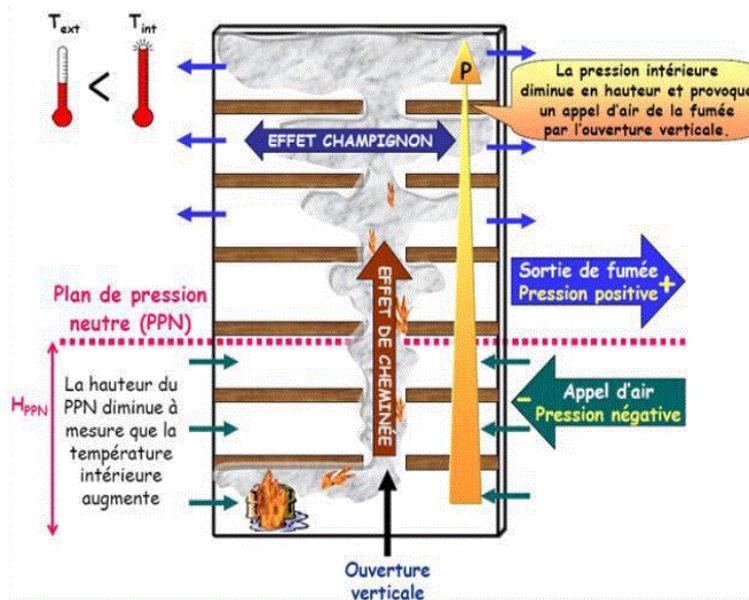


Figure 1.16 Effet de cheminée dans les bâtiments à grande hauteur

Dans le cas d'un incendie dans un bâtiment à grande hauteur (BGH) en hiver, la différence de température entre la fumée et l'air extérieur étant plus grande, l'appel d'air devient donc plus important. Durant l'été, on peut observer le phénomène inverse lorsqu'il fait très chaud, la fumée a tendance à s'écouler vers le bas au début de l'incendie. [12]

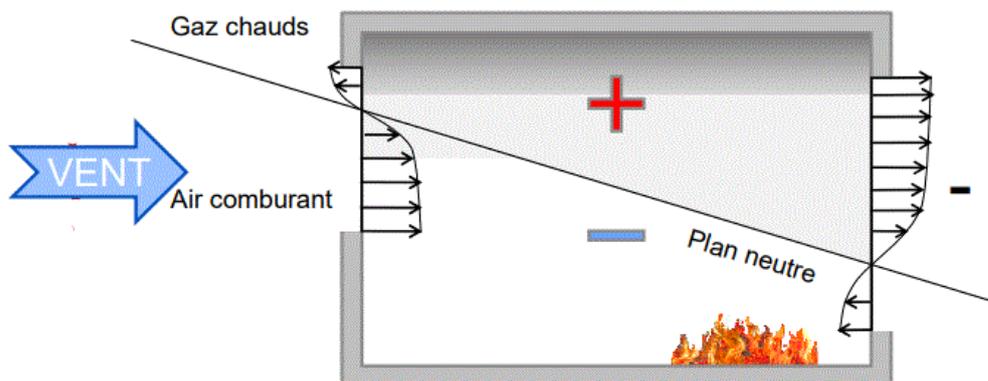


Figure 1.17 Mouvement de l'air en fonction de la différence de pression [12]

Dans une pièce ou un bâtiment, le plan de pression neutre (PPN) ou "zone neutre" correspond à la hauteur à laquelle la pression est la même en dehors qu'en dedans, lorsqu'il n'y a pas de vent. Au-dessous du PPN d'un édifice, l'écart de pression fait pénétrer l'air à l'intérieur et la pression devient négative. Au-dessus du PPN, l'air est expulsé à l'extérieur et la pression devient donc positive.

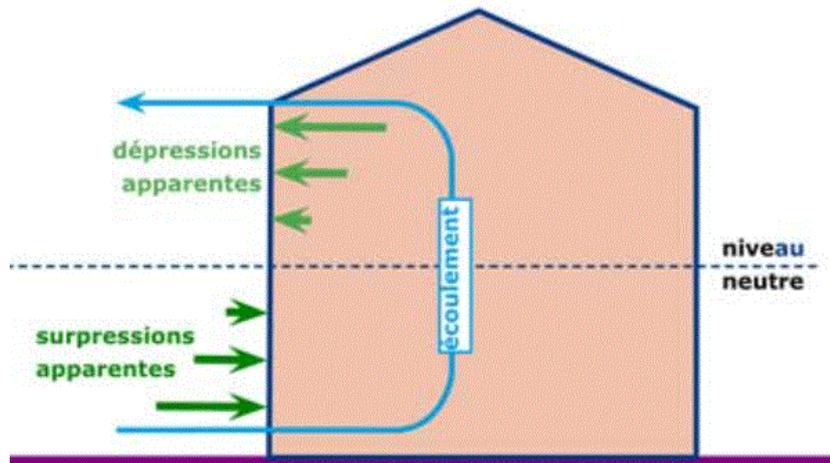


Figure 1.18 Mouvement de l'air en fonction de la différence de pression en présence du vent

Les variations de hauteur de PPN peuvent servir d'indication visuelle des phases d'incendie. Par exemple, un PPN très bas dans une pièce peut indiquer qu'un incendie est dans une phase très avancée et qu'il risque d'engendrer une explosion de fumée, un PPN très haut peut au contraire indiquer le début d'un incendie.

Conclusion

En conclusion de ce chapitre, on peut dire qu'après avoir vu les notions de base du phénomène d'incendie dans un lieu confiné on peut à présent commencer à spécifier ces notions sur notre projet de désenfumage dans un parking et pour cela nous allons introduire dans le chapitre suivant l'état des lieux à étudier.

Chapitre 2 : Evaluation des risques liés au parking objet de l'étude

2.1 Introduction

Avant de commencer notre étude, il est nécessaire de savoir sur quoi elle va se porter et d'expliquer pourquoi on a choisi d'étudier le désenfumage, et donc dans ce chapitre on va décrire toutes les caractéristiques du lieu choisi, et d'identifier les risques liés à l'exploitation du parking, et d'évaluer la probabilité d'occurrence d'un incendie ainsi que les effets que ce dernier peut générer, et de recenser les expériences vécues afin de mieux appréhender notre analyse.

2.2 Présentation du parking

L'étude est réalisée sur le parking de la grande mosquée « *Djamaâ El Djazair* » qui est classée comme un établissement recevant du public.

2.2.1 État des lieux :

Le parking de la grande mosquée d'Alger se compose de deux étages au-dessous d'une esplanade de commerces et de services :

- Il se trouve au sous-sol du bloc C ;
- Il peut contenir jusqu'à 4000 véhicules sur une surface équivalente à 70947.091 m^2
- Le parking possède une seule entrée principale et une seule sortie.
- Il contient plusieurs locaux techniques, à savoir :
 - Les locaux de réservoir plan d'eau,
 - Les locaux technique d'électricité
 - Les locaux techniques de compresseur à air
 - Les locaux techniques de ventilation,
 - Les locaux d'entretien technique,
 - Les locaux techniques de sprinkler,
 - Les réservoirs de sprinkler,
 - Deux locaux d'entretien technique de sanitaire,
 - Les locaux techniques de drainage du parking
 - Les locaux de stockage.

Les différentes composantes du parking sont représentées sur les plans ci-dessous :

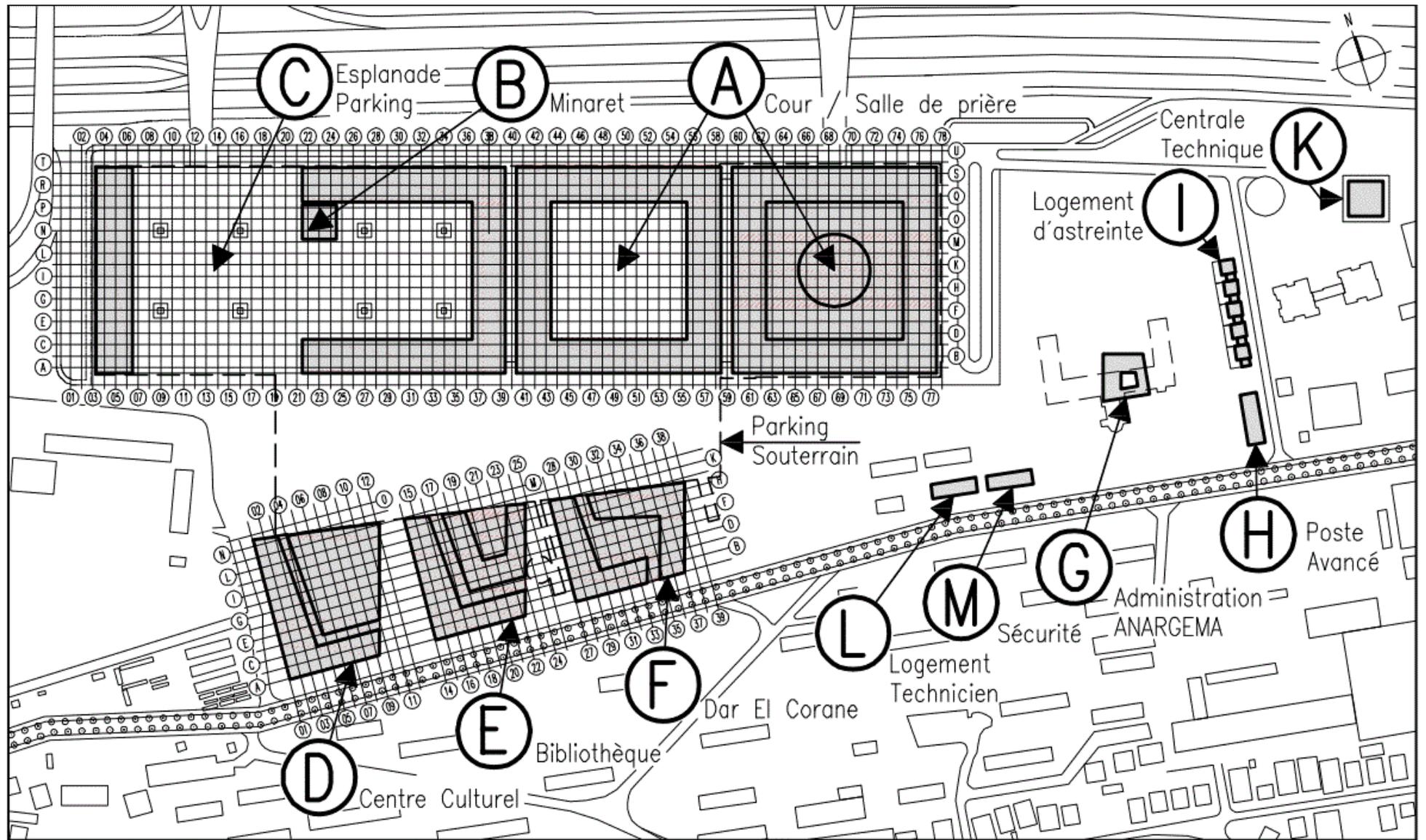


Figure 2.1 Vu d'en haut des blocs da la grande mosquée sur plan

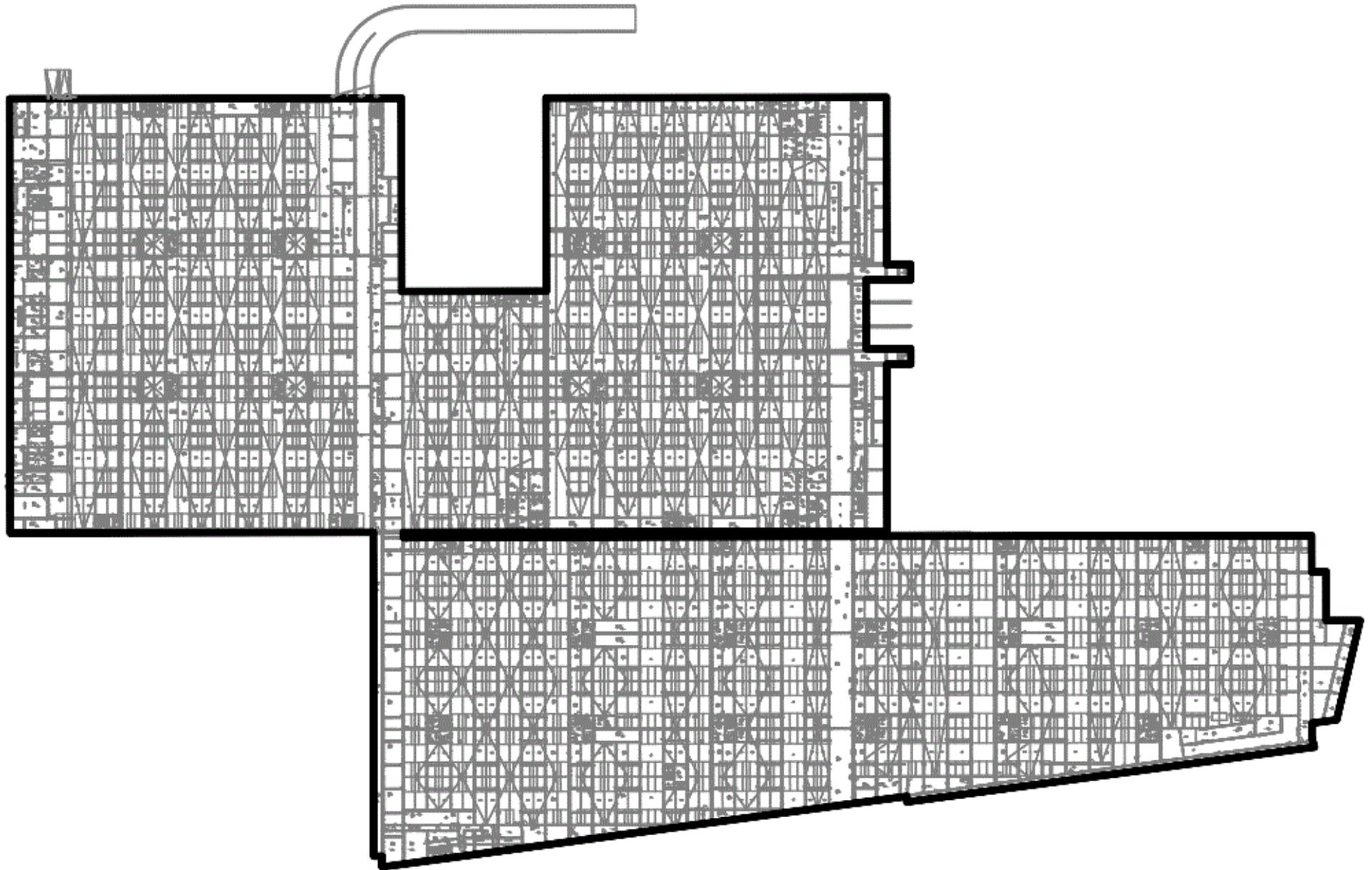


Figure 2.2 Vu sur plan du parking sous-sol 2

2.3 Evaluation des risques

Afin de déterminer et d'identifier les risques qui peuvent avoir lieu au niveau du parking, nous avons eu recours à un retour d'expérience pour avoir une idée sur historique des accidents qui se sont déjà parvenus auparavant.

2.3.1 Retour d'expérience « REX »

Il est important de noter tous les accidents rencontrés ces dernières années et de l'analyser afin qu'on puisse prendre des mesures de prévention adéquate pour éviter de faire les mêmes erreurs qui se sont produites auparavant, nous allons ici recenser quelques accidents qui ont marqué l'histoire par leurs ampleurs, Afin d'obtenir la liste d'accidents impliquant les parkings, nous avons consulté la base de données ARIA du Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles (BARPI):

⇒ **Incendie LIVERPOOL, Royaume-Uni 31 décembre 2017 :**

En fin d'après-midi du nouvel an 2017 vers 16h29 le premier signe du problème est survenu lorsqu'une caméra de surveillance a capturé de la fumée s'élevant d'une voiture garée au 3ème étage des flammes sortaient du moteur de la voiture en état d'arrêt.

Des milliers de personnes étaient venues dans la ville de King's Dock ce soir-là pour assister à un événement du nouvel an dans le stade à côté du parking donc y'a avait une activité supérieure que d'habitude presque tous les espaces du parking à plusieurs étages de King's Dock, étaient remplis de véhicules, dont beaucoup de gros camions.

Les secours ont été alertés de la situation à 16h42 et étaient sur les lieux huit minutes plus tard lorsque 18 à 20 véhicules étaient pleinement impliqués dans l'incendie les véhicules brûlaient si chaud que les trois lignes de tuyaux déployés par le service de secours n'étaient pas suffisantes pour éteindre l'incendie

Les pompiers ont encerclé et combattu l'incendie pendant près d'une heure, ajoutant continuellement des ressources au combat, mais ils n'ont jamais pu prendre le dessus. Alors que les températures dépassaient 1100°C à proximité de l'incendie, les pneus des véhicules en feu ont commencé à exploser. Les réservoirs de carburant en plastique ont fondu et se sont rompus, envoyant de l'essence enflammée se déverser sur les sols en béton, qui ont commencé à se désintégrer à cause de la chaleur intense.

Le parking n'était pas équipé d'un système de gicleurs ou d'extinction incendie ce qui a aggravé la situation le parking avait une fente de 15 millimètres de large s'étendait sur toute la longueur du sol du garage sous des rangées de voitures garées l'eau qui s'infiltrait dans cette fente était captée par une gouttière en aluminium située en dessous et transportée à l'extérieur. Environ deux heures après le début de l'incendie, la gouttière a fondu, permettant à l'essence brûlante de pleuvoir librement à travers la fente de drainage sur les véhicules garés à l'étage inférieur. Pendant ce temps, la fente sur le plancher au-dessus agissait comme un évent qui transportait du gaz et de la fumée surchauffés vers les véhicules au-dessus.

En quelques minutes l'incendie a ravagé 80% du parking les pompiers ont été engloutis par les flammes, et la décision a été prise de retirer les pompiers du bâtiment, qui risquait de s'effondrer Enfin, à 7 h 45 le 2 janvier, près de 40 heures après l'arrivée des pompiers le feu s'était éteint. À ce moment-là, le garage n'était plus qu'un morceau de béton carbonisé, ensevelissant les restes

tordus de près de 1 200 voitures, camions, fait remarquable, personne n'a été tué ou blessé dans l'incendie.

⇒ ***Incendie du parking à Bordeaux, France 18 mai 2019 :***

Un samedi soir de mai 2019 il été marquée par un incendie **d'origine criminelle** qui s'est déclencher dans un parking souterrain d'une capacité de 408 places, des individus ont allumé un bout de papier pour la brulée par manque de vigilance ce dernier prend ravage sur une voiture abandonnée.

⇒ ***Incendie du parking à Orléans, France 24 mai 2021 :***

Un incendie, au petit matin, ce lundi 24 mai dans le parking souterrain d'une résidence, à Orléans, Peu avant 5h du matin, plusieurs dizaines de pompiers sont arrivés dans les lieux là ou 4 voitures qui étaient en train de brûler, au milieu du parking, à plusieurs dizaines de mètres de l'entrée.

Les pompiers ont des difficultés pour localiser le foyer de l'incendie à cause des fumées qui ravager le parking, jusqu'à 42 pompiers ont été mobilisée pour maitriser l'incendie et évitée toute propagation de l'incendie, comme les cages d'escaliers communique entre eux de la fumée et des odeurs ont commencée monter aux étages d'en-dessue.

Les services de secours ont fait une mesure de monoxyde de Carbone a toutes les personnes qui habitée l'immeuble pour protégée les habitants de l'intoxication par ce gaz.

L'incendie n'a pas fait de pertes humaines ni de blesses juste des pertes matérielles des voitures et une fuite d'eau dans une conduite de chauffage.

⇒ ***Incendie du parking à Paris, France 15 octobre 2016 :***

Un incendie s'est déclaré le samedi matin du 15 octobre 2016 dans un parking sous l'immeuble d'habitation de 9 étages, l'origine du feu était une voiture stationnée dans le 3eme sous-sol du parking.

Des dizaines de pompiers ont été mobilisé pour éteindre l'incendie, ils ont eu du mal à s'introduire dans le parking à cause des fumées qui envahisse tous les niveaux de sous-sol, les secours ont dû déployée de grands moyens ils ont utilisé des ventilateurs à gros débit pour faire évacuer la fumée et afin qu'elle ne se propage pas aux étages de l'immeuble.

Finalement les pompiers ont réussi à maitriser l'incendie vers 10h du matin, et aucun blessé n'a été recensé que des dégâts matériels.

⇒ ***Incendie d'un parking d'hôpital à Paris France 19/05/2003 :***

Un incendie se déclare sur 3 véhicules situés dans un parking souterrain de 75 places d'un hôpital. A 20h32, l'alarme incendie est déclenchée dans la loge de l'hôpital. Avant même l'arrivée de l'agent de sécurité, les pompiers sont alertés du sinistre par ligne directe. Le déclenchement de nombreuses alarmes laissent présager un important enfumage des locaux. Isolé du parking par un sas coupe-feu, le local électrique TBGT (tableau général basse tension) à partir duquel est distribué le 220 V dans le bâtiment, n'est situé qu'à quelques mètres du brasier. L'incendie gagne le chemin de câbles qui sort du local avant de se propager aux étages. Les isolants des gaines brûlent laissant diffuser les fumées et gaz chauds. Des courts-circuits font disjoncter le transformateur général 20 000/220 V. Situé dans un local voisin isolé des

flammes, le groupe de secours se met en marche mais crée de nouveaux courts-circuits quelques instants plus tard : il ne peut donc pallier à défaillance du transformateur. L'ensemble de l'hôpital est alors plongé dans l'obscurité. Le groupe de secours serait tombé en panne après destruction par le feu de son boîtier d'arrêt d'urgence (coup de poing) situé dans le parking. Le compartimentage vertical n'existant plus, la fumée puis les flammes atteignent les étages du bâtiment administratif situé au-dessus. En l'absence de dispositifs ou portes coupe-feu, la fumée envahit plusieurs pavillons abritant des patients. 10 d'entre eux sont transférés dans des secteurs mieux ventilés. Un important dégagement de fumées s'échappe du parking et du hall d'entrée du bâtiment. Alors que le personnel du service psychiatrique isole les lieux en disposant des draps roulés sous les portes, les pompiers stoppent la propagation du feu au premier étage et maîtrisent le sinistre à 22h47. Une reconnaissance minutieuse des gaines et un désenfumage des lieux sont envisagés. Les pompiers évacuent 5 personnes bloquées dans les locaux, dont 2 intoxiquées sont hospitalisées. L'origine de l'incendie est inconnue. Sur les 3 groupes électrogènes attendus, le premier est sur place dès 4h00. La commission de sécurité inspecte les lieux le lendemain du sinistre afin de définir les prescriptions relatives à la poursuite des activités : renfort des équipes de sécurité pendant les travaux, accélération de la mise sous détection des locaux et du compartimentage des galeries de liaison.

⇒ *Synthèse :*

D'après ce qu'on a constaté sur les accidents qui se sont produit déjà dans des parkings :

L'Incendie s'avère être le phénomène dangereux qui persiste le plus dans ce type de structure.

Un feu de parking peut avoir des conséquences graves à savoir : des dégâts et pertes matériels, perte de personne (la mort), des brûlures, l'intoxication et la suffocation dû à l'accumulation de fumée dans les lieux.

2.4 Détermination des facteurs de risques

L'objectif de cette analyse est de recenser, de la manière la plus exhaustive possible, les sources extrinsèques ou intrinsèques de dangers qui pourraient entraîner un accident au niveau du parking.

2.4.1 Identification des facteurs de risques extrinsèques

Nous allons analyser les dangers susceptibles d'être créés par les activités recensées à l'extérieur pouvant avoir une influence directe sur le parking.

- **Climatologie**

Bien que les conditions météorologiques d'Alger ne sont pas considérées comme étant extrême (température, précipitation, vitesse du vent), le site du parking est conçu :

- Pour résister aux conditions extrêmes en matière de vent et de températures.
- Pour évacuer les quantités normales de précipitations « système de drainage ».

Les risques liés à la climatologie du site sont :

- **Risque de tempête** : non retenu
- **Les inondations** : Le risque lié aux inondations est non retenu du fait de sa prise en considération lors de la phase de conception.

- **L'activité sismique :**

- a) **Classification de la région étudiée :**

D'après les "REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES RPA 2003" (DTR B-C 2-48) édité par le Ministère de l'Équipement et le Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique CGS :

Le territoire Nationale est devisé en cinq (05) zones de sismicité croissante, par Wilaya et par commune comme suit :

- Zone 0 : Sismicité négligeable
- Zone I : Sismicité faible
- Zones IIa et IIb : Sismicité moyenne
- Zone III : Sismicité élevé

La figure représente la carte des zones sismiques en Algérie :

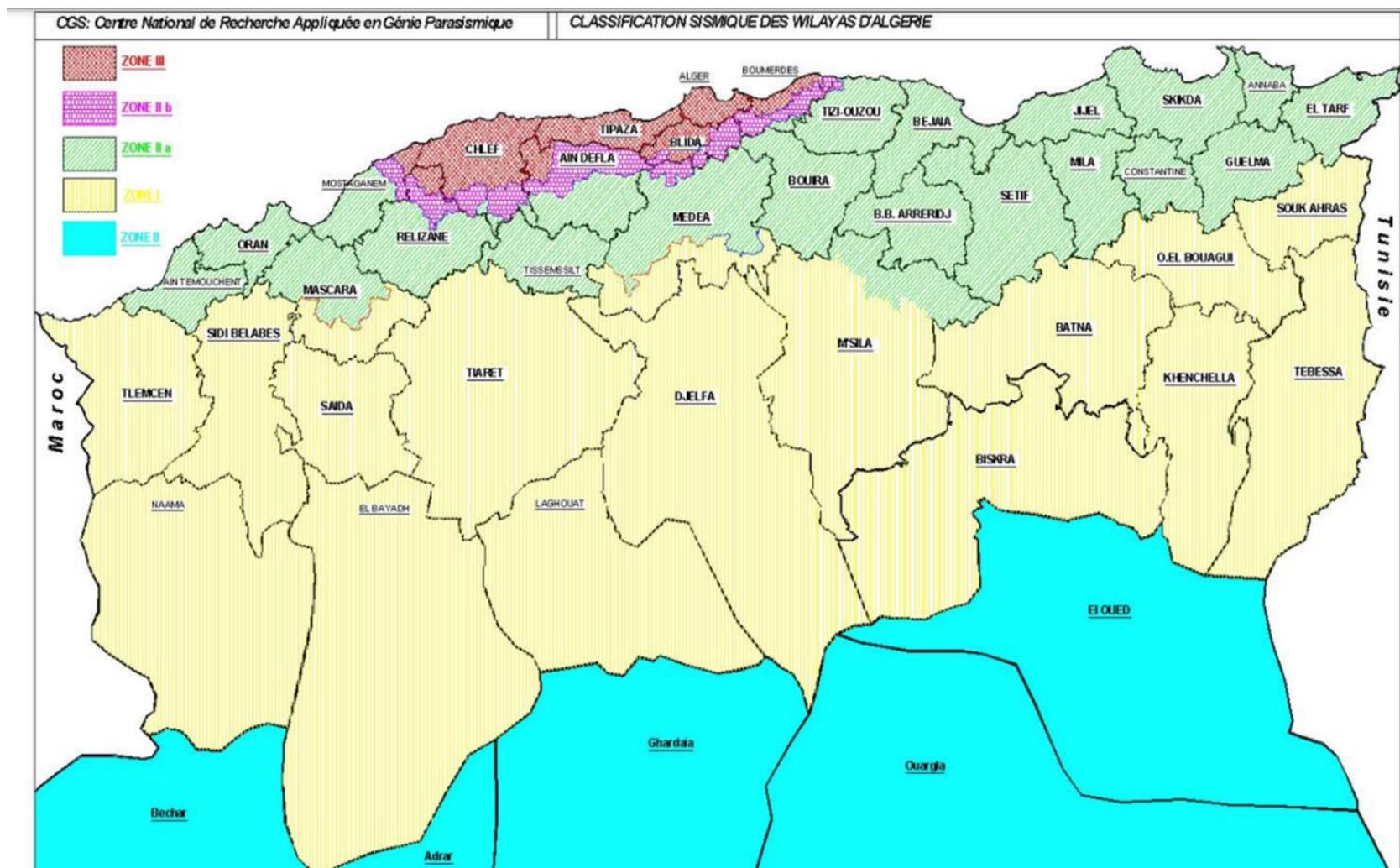


Figure 2.3 Carte de zones sismiques en Algérie

La classification sismique de la région de localisation de la grande mosquée :

Tableau 2.1 Classification sismique

| Wilaya | Commune | Classification de sismicité | Signification |
|--------|------------|-----------------------------|------------------|
| Alger | Mohammedia | III | Sismicité Élevée |

b) Risque lié à la sismicité de la région :

Le site se trouve dans une zone sismique d'intensité élevée.

Un séisme peut être à l'origine de plusieurs accidents, à savoir : Les incendies, l'Effondrement, la Fragilisation de la structure...etc

De ce fait, le risque de tremblement de terre est retenu comme significatif, pour cela des mesures ont été mises en place lors de la phase de construction :

- Les règles de construction parasismiques.
- L'organisation des secours en cas de séisme.

• Voie de communication externe :

La grande mosquée se situe au niveau de la commune de Mohammedia, Wilaya d'Alger.

Le parking se trouve au niveau du sous-sol de la mosquée, donc il n'est avoisiné par aucune activité industrielle qui peut engendrer des Effets Domino pouvant nuire à sa sécurité.

Les voies routières (RN 11), les Voie ferroviaire et les Voie maritime sont loin d'être considéré comme facteurs de risque liés au parking.

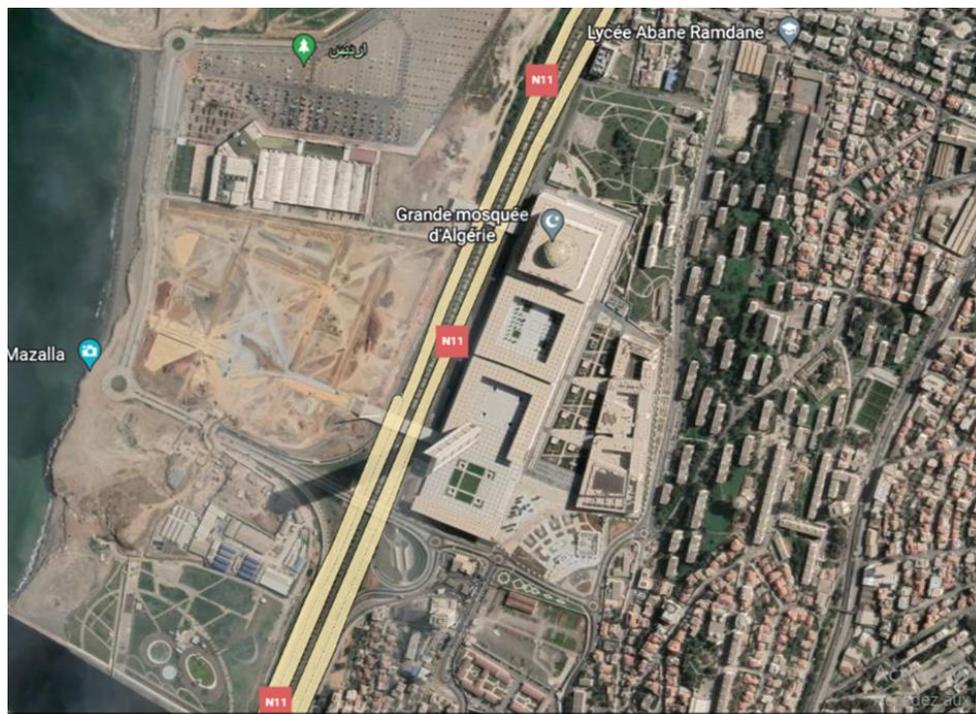


Figure 2.4 Plan de situation

- **Facteur humain**

Des actes de malveillance peuvent potentiellement intervenir sur le parking.

Le facteur humain peut être à l'origine de plusieurs accidents, à savoir :

- Des actes criminels ou terroristes.
- Initiation d'incendie involontaire : fumée de cigarettes, non-respect des consignes de sécurité, réalisation des travaux d'entretien de véhicule dans des zones non appropriées, rejet des huiles usagées ou de déchets combustibles au niveau du parking ...etc

2.4.2 Identification des facteurs de risque intrinsèques :

a) Risques liés aux locaux techniques :

- **Les compresseurs d'air :**

Principaux risques liés aux compresseurs d'air sont :

- Explosions par manque de résistance du matériau ou par excès de pression.
- Explosions du fait de l'auto-inflammation de l'huile lubrifiante lors de la compression ou d'une décharge électrostatique.
- Incendies par court-circuit électriques, température de l'air comprimé trop élevée.

- **Un groupe électrogène**

Le risque concerne : l'incendie du groupe électrogène due à une fuite du combustible ou à un court-circuit.

- **Stockage des produits combustibles :**

Les locaux techniques du parking dédiés au stockage, peuvent contenir des produits combustibles tel que : Les lubrifiants, les pneumatiques et les produits d'entretien.

Ces produits peuvent prendre feu facilement en cas de source d'activation (masse électrique, cigarette, flamme nue...)

Les pneumatiques dégagent des gaz très toxiques lors de leur combustion, ils peuvent causer une pollution de l'air qui peut toucher directement les personnes présentes (asphyxie) à l'intérieur du parking si les fumées ne seront pas évacuées de façon appropriée.

- **Risques liés aux installations électriques :**

- **L'incendie :** 30 % des incendies sont d'origine électrique, les principales causes sont :

L'échauffement des câbles dû à une surcharge le court-circuit entraînant un arc électrique, un défaut d'isolement conduisant à une circulation anormale du courant entre récepteur et masse ou entre récepteur et terre, des contacts défectueux (de type connexion mal serrée ou oxydée) entraînant une résistance anormale et un échauffement, la foudre, une décharge électrostatique.

- **Risques professionnels :** L'électrisation ou l'électrocution par contact, direct ou non, avec une pièce nue sous tension, ou contact avec arc électrique.

- **Risques liés à la circulation de véhicules**

Des risques de collision dus à la circulation des différents véhicules sont susceptibles de survenir à l'intérieur du parking : collision entre deux véhicules, collision entre véhicule et structures, percussion des personnes.

Une collision peut engendrée :

- Inflammation du véhicule (le cas échéant explosion).
- Une fuite de carburant.
- Pertes humaines.
- Pertes matérielles.

- **Risques liés au public présent**

Etant donné que le parking est considéré comme un ERP, il reçoit toutes catégories de personnes :

- Différents âges : enfant, personne âgée...
- Personnes handicapées, malades,
- Personnes du grand public, ne recevant aucune formation sur le niveau de sensibilisation (évacuation, utilisation des mesures d'extinction, lecture des consignes de sécurité ...)

Ces personnes peuvent être à l'origine d'un accident :

- D'origine électrique : non-respect des consignes.
- Par malveillance : acte volontaire ou non.

2.5 Evaluation des risques : L'ANALYSE DES RISQUES ET DES CONSEQUENCES

La démarche d'évaluation des risques que nous avons adoptée est basée sur l'application de la méthode APR, qui est représenté comme suit :

2.5.1 Élaboration des critères de l'évaluation

La criticité du risque se calcule comme suit :

$$\text{Risque} = \text{Probabilité} \times \text{Gravité}$$

- Grille d'échelle pour l'évaluation de la probabilité :

Tableau 2.2 Échelle de probabilité du risque

| Probabilité | Significativité |
|-------------|-------------------|
| 1 | Très peu probable |
| 2 | Peu probable |
| 3 | Probable |
| 4 | Très probable |

- Grille d'échelle d'évaluation de la gravité :

Tableau 2.3 Échelle de gravité du risque

| Gravité | Significativité |
|---------|-----------------|
| 1 | Mineure |
| 2 | Importante |
| 3 | Grave |
| 4 | Critique |

- Matrice d'évaluation de la criticité :

Tableau 2.4 Matrice de criticité

| | | Probabilité | | | |
|---------|---|-------------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Gravité | 1 | | | | |
| | 2 | | | | |
| | 3 | | | | |
| | 4 | | | | |

- **Significativité des risques :**

| | |
|--|---------------------|
| | Risque Inacceptable |
| | Risque ALARP |
| | Risque acceptable |

- **Méthodologie de calcul de la criticité des risques :**

Nous avons choisi d'évaluer le risque selon 2 niveaux différents :

- **Risque brut :** qui consiste à calculer la criticité du risque avant la mise en place des barrières de sécurité existantes sur site.
- **Risque résiduel :** calculer la criticité du risque avec la mise en place des barrières de sécurité proposées au niveau de la phase de traitement du risque.

2.5.2 L'évaluation des risques

L'évaluation des risques, l'estimation des conséquences de chacun et la proposition de barrières de sécurité à mettre en place est représenté dans le tableau ci-dessous :

a) Les locaux techniques :

| Locaux | Catégorie de risque | Phénomène dangereux / type de danger | Situation dangereuse | Causes | Conséquences | G | P | R | Barrières de sécurité | G | P | Rr |
|--------------------|---------------------|--------------------------------------|--|--|--|---|---|----|---|---|---|----|
| Compresseur d'air | Thermique | Incendie | Formation d'une atmosphère inflammable | Manque de résistance du matériau Excès de pression Auto-inflammation de l'huile lubrifiante Décharge électrostatique Court-circuit électriques Séisme | Flux thermique Propagation vers les installations adjacentes Dégâts matériels Asphyxie Brulures Décès | 4 | 4 | 16 | Mise à la terre pour empêcher l'accumulation d'électricité statique. Isoler les systèmes de compression et limiter le personnel ayant accès. Maintenance préventive Mettre en place des dispositifs de détection d'incendie. Moyens d'extinction : sprinklers, RIA, extincteurs. Nettoyage périodique Système d'extraction de fumée. | 3 | 2 | 6 |
| Groupe électrogène | Thermique | Incendie | Présence d'une source d'ignition à côté de matières combustibles | Séisme Fuite du combustible Court-circuit Masse électrique Flamme nue | Flux thermique Propagation vers les installations adjacentes Dégâts matériels Asphyxie Brulures Décès | 4 | 3 | 12 | Consignes de sécurité S'écarter du matériel en fonctionnement. Tenir éloigné du groupe, les individus non habilités Habilitation du personnel Maintenance préventive périodique Respecter les règlements en vigueur | 3 | 2 | 6 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|------------|--------------------------------------|--|--|--|---|---|---|---|---|---|---|
| Stockage des produits combustibles | Electrique | Electrisation / électrocution | Contact direct avec un appareil électrique HT | Travail à proximité Imprudence Ignorance | Brulure Projection Électrisation Électrocution Décès | 3 | 2 | 6 | Procéder aux réglages du matériel en suivant les prescriptions des constructeurs. Mettre en place des dispositifs de détection d'incendie Système d'extraction de fumée. Mettre en place des panneaux de signalisation pour diriger le public vers les sorties d'évacuation | 2 | 1 | 2 |
| | Chimique | Déversement | Déversement accidentel des liquides potentiellement polluants (huiles) | Fuites sur un contenant Chute, renversement Choc | Pollution | 3 | 2 | 6 | Consignes de sécurité Mettre en place des dispositifs de détection d'incendie Système d'extraction de fumée. Mettre en place des panneaux de signalisation pour diriger le public vers les sorties d'évacuation | 2 | 1 | 2 |
| | Thermique | Incendie | Présence d'une source d'ignition à côté des matières combustibles | Cigarette Masse électrique Malveillance | Flux thermique Propagation vers les installations adjacentes Dégâts matériels Asphyxie Brulures Décès | 4 | 2 | 8 | | 3 | 1 | 3 |

b) Installation électrique du parking :

| Installation | Catégorie de risque | Phénomène dangereux / type de danger | Situation dangereuse | Causes | Conséquences | G | P | R | Barrières de sécurité | G | P | Rr |
|-------------------------|---------------------|--------------------------------------|---|---|--|---|---|----|--|---|---|----|
| | | | | | | | | | | | | |
| Installation électrique | Thermique | Incendie | Présence d'une source d'ignition d'origine électrique proximité de matières combustibles | Échauffement des câbles Le court-circuit Défaut d'isolement Arc électrique Présence de débris et de déchets inflammable | Flux thermique Propagation vers les installations adjacentes Dégâts matériels Asphyxie Brulures Décès | 4 | 4 | 16 | Consignes de sécurité Nettoyage périodique du parking Isolement des câbles électriques Mise à la terre Limiter l'accès du public aux armoires électriques Mettre en place des dispositifs de détection d'incendie | 3 | 2 | 6 |
| | Electrique | Electrisation / électrocution | Contact direct du public avec un appareil électrique | Imprudence Ignorance Malveillance | Brulure Projection Électrisation Électrocution Décès | 3 | 4 | 12 | Système d'extraction de fumée. | 3 | 2 | 6 |

c) Circulation de véhicule

| Lieu | Catégorie de risque | Phénomène dangereux / type de danger | Situation dangereuse | Causes | Conséquences | G | P | R | Barrières de sécurité | G | P | Rr |
|---------------------|---------------------|--------------------------------------|--|--|--|---|---|----|--|---|---|----|
| Voie de circulation | Physique | Collision | Collision entre véhicules Collision entre véhicules et structures percussion de personne | Imprudence Ignorance Malveillance Défaillance du véhicule Manque visibilité Encombrement des voies de circulation | Inflammation du véhicule Une fuite de carburant. Pertes humaines. Pertes matérielles. | 3 | 4 | 12 | Délimitation des voies de circulation Signalisation Limitation de la vitesse de circulation Prévoir des sources de lumière suffisante Prévoir des agents responsables de l'organisation de la circulation à l'intérieur du parking. | 3 | 2 | 6 |
| | Thermique | Incendie Explosion | Inflammation du véhicule | Fuite du réservoir du carburant Entretien de véhicule de manière inappropriée | Flux thermique Propagation vers les installations adjacentes Dégâts matériels Asphyxie Brulures Décès | 4 | 2 | 8 | Interdiction de tous travaux d'entretien à l'intérieur du parking. Mettre en place des dispositifs de détection d'incendie Systeme d'extraction de fumée. Mettre en place des panneaux de signalisation pour diriger le public vers les sorties d'évacuation | 3 | 2 | 6 |

2.5.3 Sélection des scénarios retenus

En se fondant sur la revue des accidents antérieurs et sur l'identification des risques précédents, les Scénarios qui ont été retenus sont représentés dans le tableau ci-dessous

Tableau 2.0.5 Les scénarios d'accidents retenus

| N° | Origine | Scénario envisagé | Conséquences | Mesures nécessaires et obligatoires |
|----|---------------------------------|--|---|--|
| 01 | Compresseur d'air | Explosion ou Incendie : Formation d'une atmosphère inflammable Manque de résistance du matériau du compresseur, Excès de pression, Auto-inflammation de l'huile lubrifiante, Décharge | Flux thermique Effets de surpression Propagation vers les installations adjacentes Dégâts matériels Brulures Asphyxie Décès | Mise à la terre pour empêcher l'accumulation d'électricité statique Isoler les systèmes de compression et limiter le personnel ayant accès Maintenance préventive Mettre en place des dispositifs de détection d'incendie Moyens d'extinction : sprinklers, RIA, extincteurs. Système d'extraction de fumée. Point de rassemblement Moyens d'intervention : appel à l'intervention des pompiers, Évacuation du personnel... |
| 02 | Groupe électrogène | Incendie : Fuite du combustible Court-circuit Masse électrique | Flux thermique Propagation vers les installations adjacentes Dégâts matériels Asphyxie Brulures Décès | Consignes de sécurité S'écarter du matériel en fonctionnement. Tenir éloigné du groupe, les individus non habilités Habilitation du personnel Maintenance préventive périodique Respecter les règlements en vigueur Procéder aux réglages du matériel en suivant les prescriptions des constructeurs. Mettre en place des dispositifs de détection d'incendie Système d'extraction de fumée. Mettre en place des panneaux de signalisation pour diriger le public vers les sorties d'évacuation |
| 03 | Compartiments du parking | Incendie : Inflammation des installations électriques Inflammation des véhicules | Flux thermique Propagation vers les installations adjacentes Dégâts matériels Asphyxie Brulures Décès | Consignes de sécurité Isolement des câbles électriques Mise à la terre Limiter l'accès du public aux armoires électriques Interdiction de tous travaux d'entretien à l'intérieur du parking. Mettre en place des dispositifs de détection d'incendie Système d'extraction de fumée. Mettre en place des panneaux de signalisation pour diriger le public vers les sorties d'évacuation |

2.5.3 Synthèse de l'évaluation

- Synthèse d'évaluation générale :

Les résultats de l'évaluation des risques sont les suivantes :

| | Significativité | R | Rr |
|--|---------------------|----|----|
| | Risque Inacceptable | 07 | / |
| | Risque ALARP | 02 | 07 |
| | Risque acceptable | 00 | 02 |

A la fin de notre évaluation nous avons identifié 07 risques bruts inacceptables, 02 ALARP et aucun risque brut n'est jugé acceptable.

Avec la mise en place des mesures que nous avons proposées ainsi que ceux existantes : nous sommes parvenus à diminuer la significativité des risques à 07 risques ALARP et 02 risques acceptables.

- Synthèse dévaluation des scénarios :

Le Scenario d'accident qui survient le plus est : l'incendie

L'identification des scénarios a permis d'aboutir à la détermination des points sensibles du parking, dû à la probabilité élevée de l'occurrence d'un incendie.

Les points sensibles du parking sont :

- ✓ Le local technique compresseur d'air
- ✓ Le local technique du groupe électrogène
- ✓ Les voies de circulation et ses installations électriques

La fumée générée en cas incendie est considérée comme la conséquence la plus grave, du fait que le parking est un milieu confiné recevant un nombre important de public

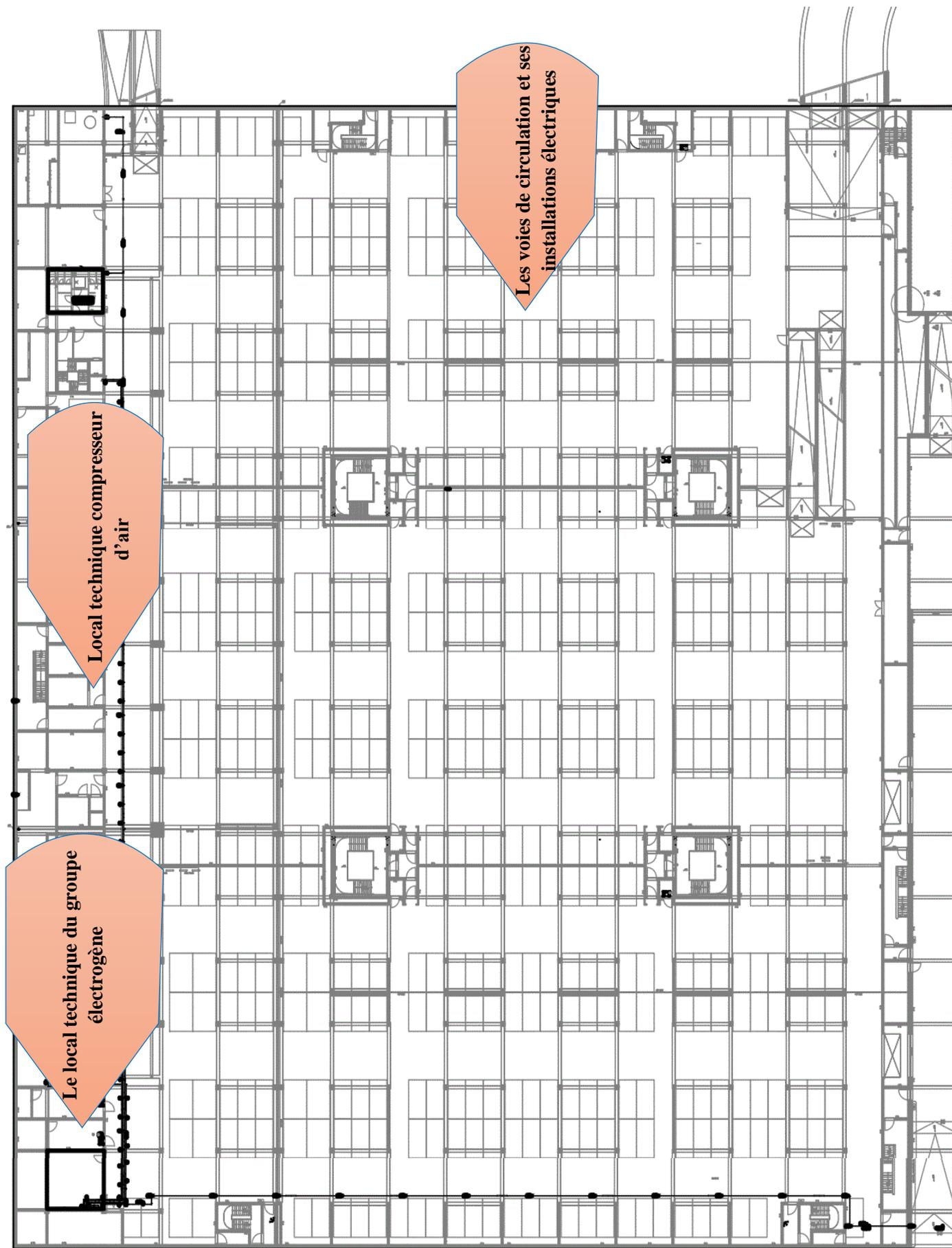


Figure 2.5 Les points sensibles du parking

En concluant : les principaux risques rencontrés par les personnes qu'y sont exposées en cas d'incendie sont de trois natures :

Les risques thermiques : en d'autres termes se sont les brûlures ils peuvent survenir par contact direct avec la flamme ou bien par conduction thermique ou de fumée

Les risques traumatiques : ils sont dus principalement de la perte de visibilité à cause de la fumée, ils peuvent être par exemple un effondrement d'un plancher, à une explosion ou à une chute lors de la fuite ou l'évacuation des personnes

Les risques toxiques : ils sont la conséquence de l'inhalation des fumées d'incendie, elle agit ici par son caractère toxique propre, qui dépend de la nature des matériaux en combustion, les substances chimiques présentes dans la fumée peuvent cause des problèmes respiratoires voir une asphyxie

2.6 Conclusion

A la fin de ce chapitre, nous avons pu justifier le choix de la thématique de notre projet, à travers les résultats de notre évaluation qui ont aboutis à la persistance du scénario d'incendie dans différents points sensibles du parking, ainsi que la dangerosité de la fumée générée par ce dernier sur le public du fait que c'est un milieu confiné.

Selon notre vision, le système d'évacuation de fumée est d'une présence primordiale afin d'assurer la sécurité des personnes qui s'y trouvent.

Chapitre 3 : Dimensionnement du système de désenfumage

3.1 Introduction

Afin de réaliser une simulation adéquate et proche de la réalité on doit tout d'abord dimensionner le réseau mettre en place le cheminement des gaines de désenfumage, dans ce chapitre nous allons comprendre comment calculer le débit d'extraction pour chaque événement, suivant les règles, ce dimensionnement va être réalisé sur le logiciel AutoCAD avec une extension d'Autofluid.

3.2 Principe de dimensionnement :

La ventilation du parking peut être soit naturelle soit mécanique, pour un parking situés au-dessous du niveau de référence, la ventilation doit être obligatoirement mécanique comme pour notre cas du parking de la grande mosquée on va ce basée sur les principes du désenfumage mécanique / mécanique c'est-à-dire une amenée d'air mécanique et une extraction mécanique.

La ventilation mécanique doit permettre un renouvellement d'air de 600 m³/h par voiture en présence des sprinklers et de 900 m³/h en absence des sprinklers, (Arrêté du 9 Mai 2006 de la réglementation française).

Les ventilateurs doivent normalement assurer leur fonction avec des fumées à 200C pendant 1h, l'alimentation électrique des ventilateurs doit être assurée par une dérivation issue directement du tableau principal et sélectivement protégée.

3.2.1 Principe de désenfumage applicable aux circulations encloisonnées

Définir l'emplacement des volets d'amenée d'air et d'évacuation de fumée dans le but d'obtenir un balayage efficace des fumées et conformément à la réglementation.

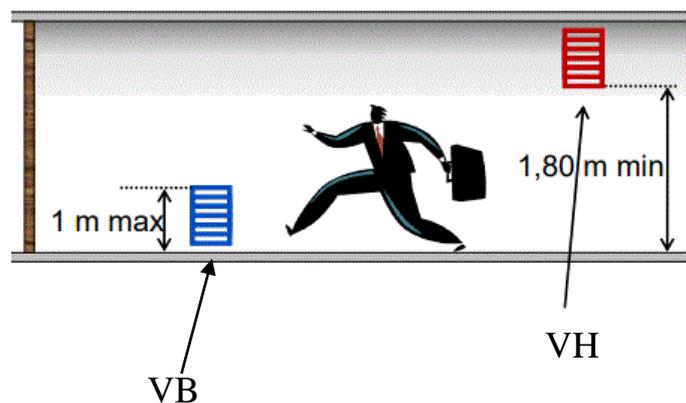


Figure 3.1 Désenfumage mécaniques pour la circulation encloisonnée

Les bouche d'amenée d'air VB et d'évacuation de fumée VH sont répartie de façon alterne de préférence le nombre de volée VB doit être supérieur ou égale au nombre de volées VH, de plus le désenfumage mécanique permet d'augmente la distance maximale entre deux conduite à 15 mètre (10 mètre en cas de désenfumage par balayage naturel) et de 10 mètre si la circulation n'est pas rectiligne (7 mètre en cas de désenfumage par balayage naturel)

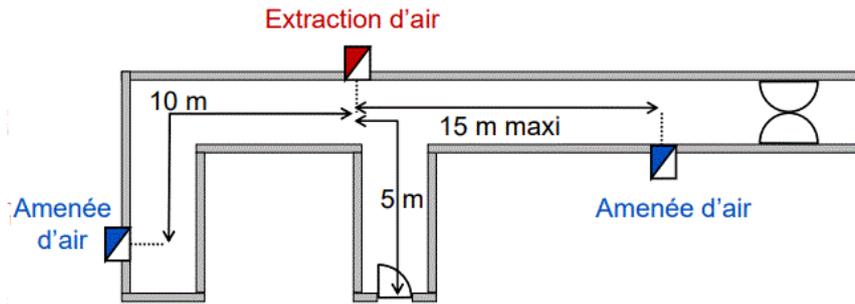


Figure 3.2 Désenfumage mécaniques des circulations

Toute porte d'un local non situé entre deux volées doit être distante de 5 mètre maximum de l'un d'eux

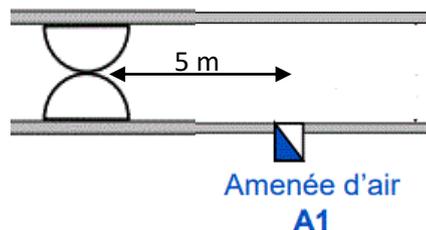


Figure 3.3 Schéma représentative de la distance entre la porte d'un local et un VB

Définir les dimensions des volets d'amenée d'air et d'évacuation de fumées conformément à la réglementation, les bouches d'amenées d'air VB doivent avoir leurs parties supérieures à 1 mètre au-plus au-dessus du planchée, elles sont positionnées en bas pour éviter de déstratifier les fumées chaudes qui s'accumule naturellement en partie haute, elles sont de préférence implantées vers les portes de recoupement et des portes d'accès aux escaliers.

Les bouches d'extraction de fumées VH doivent avoir leurs parties basses à 1,80 mètre au moins au-dessus du planchée et doivent être située en totalité dans le 1/3 supérieurs de la circulation.

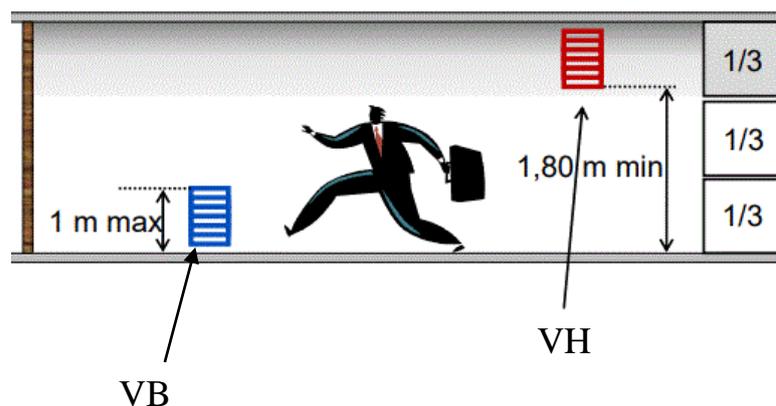


Figure 3.4 Dimensionnement des VB et VH dans une circulation enclouonnée

Les couloirs sont dimensionnés en fonction du nombre de personne amenée à les emprunter en cas de sinistre, les débits de désenfumage des couloirs dépendent de la largeur de celui-ci chaque tronçon du couloir doit être balayé par un débit d'extraction d'au moins $0,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{UP}$.

En outre le balayage est indispensable afin qu'il ne reste aucune zone de stagnation des fumées, il faut donc que les fumées soient aspirées en tout point du couloir, pour assurer ce balayage il faut respecter les débits de chaque amenée d'air VB pour cela il faut dimensionner correctement l'ensemble des produits constituant le système de désenfumage :

- a) Les volets d'amenée d'air seront dimensionnés pour le débit réglementaire sans dépasser 5 m/s au-delà il y a un risque de déstratification des fumées (pour les amenées d'air mécanique leur débit est égal à 60% fois le débit d'extraction)
- b) Les volets d'extraction VH n'ont pas de contrainte sur la vitesse d'extraction ils doivent assurer une évacuation du débit réglementaire (généralement la vitesse utilisée est de 8 à 10 m/s)

3.2.2 Détermination des unités de passage dans les couloirs

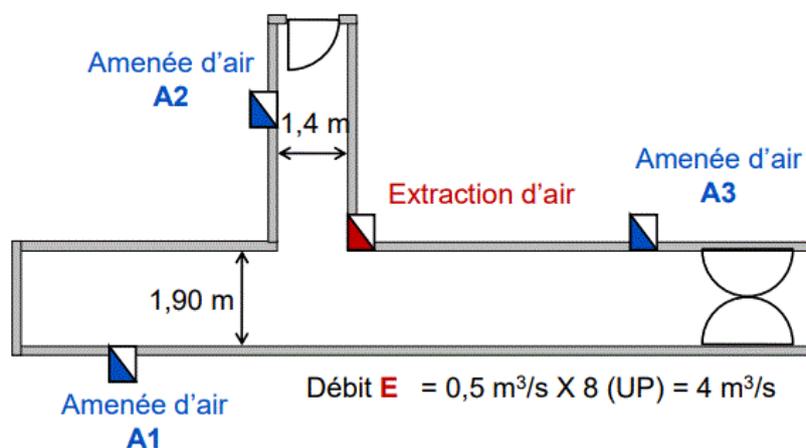


Figure 3.5 Schéma représentative du principe des unités de passage

Afin de déterminer les débits d'extraction d'air dans un couloir il est nécessaire de connaître la notion d'unité de passage et de savoir comment la calculer, il faut savoir que le nombre d'unité de passage dépend de la largeur du couloir c'est-à-dire que si la largeur est inférieure ou égale à $0,9 \text{ m}$ cela implique que $\text{UP} = 1$.

Dans le cas contraire lorsque la largeur est supérieure à $0,9 \text{ m}$ on applique la règle qui énonce que la largeur du couloir en mètre divisée par le nombre $0,6$ nous donne un nombre (A,y) :

$$\text{La largeur du couloir (m)} / 0,6 = A,y \begin{cases} \text{Si } y < 50 & \longrightarrow \text{UP} = A \\ \text{Si } y \geq 50 & \longrightarrow \text{UP} = A + 1 \end{cases}$$

Exemple :

Un couloir de forme T a une largeur $l_1 = 1,90 \text{ m}$ et $l_2 = 1,4 \text{ m}$ le nombre UP est égale a :

$$\left. \begin{array}{l} \frac{l_1}{0,6} = \frac{1,90}{0,6} = 3,16 \approx 3 \\ \frac{l_2}{0,6} = \frac{1,40}{0,6} = 2,3 \approx 2 \end{array} \right\} \quad \text{UP} = (3\text{UP} \times 2) + 2\text{UP} \rightarrow \text{UP} = 8$$

3.3 Dimensionnement par AutoCAD

AutoCAD est un logiciel de la famille AutoDesk que nous avons utilisé pour l'établissement du schéma du parking et aussi pour le dimensionnement des gaines d'extraction de fumée et d'amenée d'air

3.3.1 Présentation du logiciel

AutoCAD, est un logiciel de dessin et conception assistée par ordinateur (CAO), créé par Autodesk pour la conception de plans en 2D et 3D, il est utilisé dans de nombreux domaines d'activité telle que le dessin d'architecture, dessins pour applications d'électronique, de chimie, d'ingénierie civile, de mécanique et d'aérospatiale ainsi que pour le dimensionnement de désenfumage.

Le logiciel possède plusieurs fonctionnalités selon le domaine, comme l'utilisation des fonctions spécialisées pour l'ingénierie MEP qui nous permet de dessiner des objets mécaniques, électriques et de plomberie et de concevoir facilement les réseaux de gaines, les conduits électriques et le circuit électrique, de plomberie et de chauffage, ventilation et climatisation.

Pour notre étude le logiciel utilisé est de versions AutoCAD2019 il est assimilée à une extension Autofluid qui va nous permettre la mise en place des conduites dans notre plan, le logiciel nous permet de savoir la faisabilité de cette mise en place, il est important de prendre en considération les obstacles architecturaux des lieux afin d'optimiser les espace de passage et pour ne pas gêner la circulation et les sortie de secours.

La version d'extension d'Autofluid doit être compatible avec la version d'AutoCAD MEP afin de pouvoir utilisée ces fonctionnalités, nous pouvons dimensionnée et dessinée plusieurs réseaux et de conduite, aussi calculée les pertes de charge et transformé le réseau en 3D, la suite Autofluid se compose de six logiciels :



AUTOSAN.IO



AUTOGAINE.IO



AUTOTUBE.IO



AUTOCOUCPE.IO



DZETACAD.IO



AUTOBIM3D.IO

- AutoGaine dédiée à l'aéraulique (chauffage, climatisation, ventilation,...)
- AutoTube dédiée au tracer hydraulique tel que les systèmes d'extinction d'incendie
- AutoSan pour la plomberie et sanitaire
- AutoCoupe pour faire de coupe à partir de ce qui a été tracée par les logiciels précédent
- DZETACAD pour calculer les pertes de charge à partir des tracées avec AutoGaine
- AutoBIM permet la transformation 3D de ce qui a été tracée avec AutoGaine

3.3.2 Choix de la gaine de désenfumage

Un conduit de désenfumage efficace doit être adapté à l'espace dans lequel il se trouve. Par conséquent, une analyse détaillée de l'espace en question est nécessaire en fonction de la surface, de la hauteur du plancher et de la vitesse de propagation du feu dans cet espace. Au début du dimensionnement on doit définir d'abord le type de la gaine qu'on veut utiliser, il existe deux type soit rectangulaire soit circulaire, pour optimiser l'espace et comme on est dans un lieu confinée et par manque de surface libre, il est préférable d'optée pour une section rectangulaire.

La gaine ou les conduits de désenfumage sont fabriquée avec certaine caractéristiques pour répondre à des besoins précise lors d'un incendie, le matériau le plus utilise dans ce genre de fabrication est généralement le silicate de calcium (Ca_2SiO_4), c'est un composés issus de la chaux et de la silice



Figure 3.6 Les panneaux de silicate de calcium



Figure 3.7 La gaine de désenfumage

Les panneaux de silicate de calcium sont particulièrement adaptés à l'isolation et à la protection anti-feu. Ils sont assemblés par collage avec une colle-ciment réfractaire pour former la gaine, les panneaux en silicate de calcium présentent de nombreuses caractéristiques qui les distinguent des autres matériaux de construction :

- ✓ Le panneau de silicate de calcium est un isolant sans fibre (contraire de l'amiante)
- ✓ Incombustible et très résistant au feu (Résistance au feu élevée jusqu'à **1 000 °C**) Son classement en termes de résistance au feu est : «*A2-S1.D0 Non combustible*» au titre de l'Arrêté du 21 novembre 2002 relatif à la réaction au feu des produits de construction et d'aménagement.
- ✓ Isolant thermique léger (250 à 350 kg/m³ environ)
- ✓ Résistant à l'humidité et aux chocs
- ✓ Stabilité dans le temps
- ✓ Respect de la santé des installateurs et utilisateurs.
- ✓ Le panneau de silicate de calcium est jetable et écologique (non polluant),

3.3.3 Méthode de du dimensionnement

Comme le parking s'étend sur une surface très grande il est impossible de le dimensionnée en un seul réseau comme aussi il est impossible d'étendre le réseau en sur les deux sous-sols donc on a divisé le parking en 4 parties qui sont séparée par des grande porte coupe-feu. On a choisi une partie du parking qui présent plusieurs locaux à risques qui peuvent génère un incendie c'est celle qui est de couleur rose (voir figure 3.8)

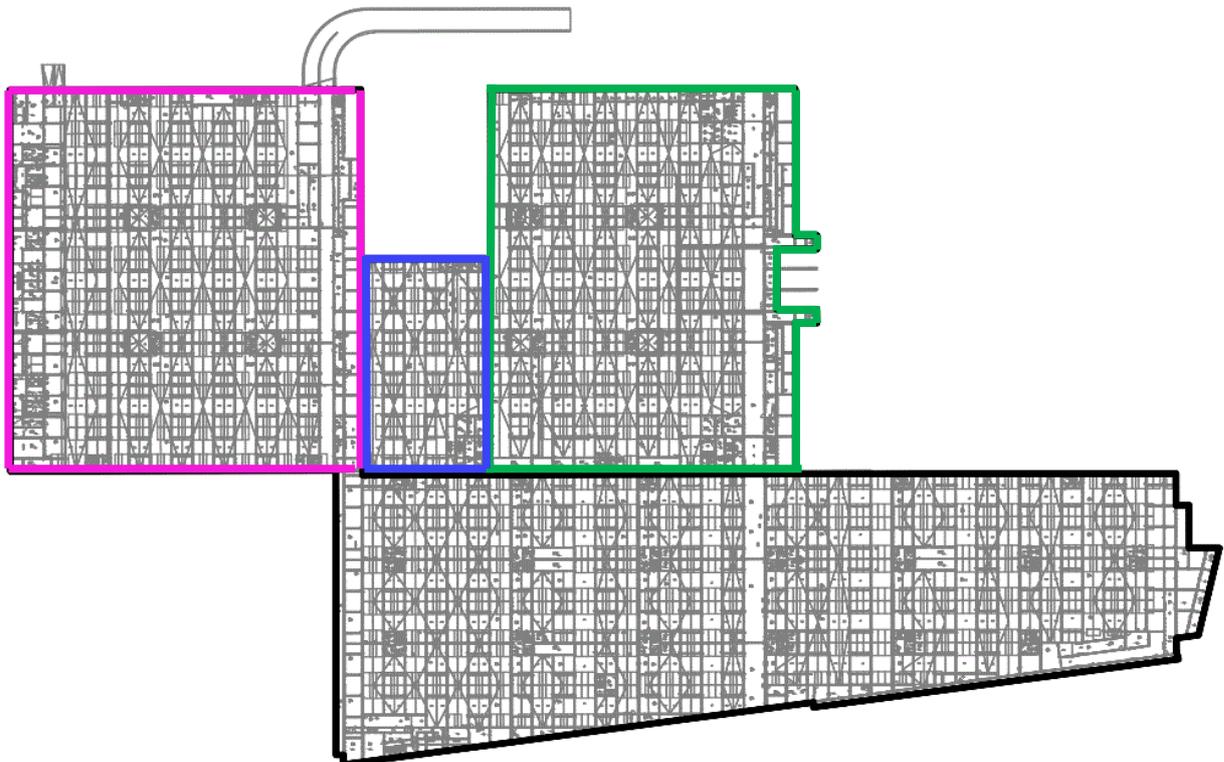


Figure 3.8 Détermination des 4 parties du parking sous-sol 2

Après avoir déterminé la partie du parking à étudier on définit maintenant les étapes de l'étude d'abord il faut savoir que cette partie a une superficie de $20\,000\text{ m}^2$ et une hauteur a environ 5 mètres du sol par étage.

En enlevant toutes les parties qui ne sont pas concernée dans cette étude on obtient le plan de la figure 34 sur ce plan on compte 511 places de stationnement de véhicule sur $16\,000\text{ m}^2$

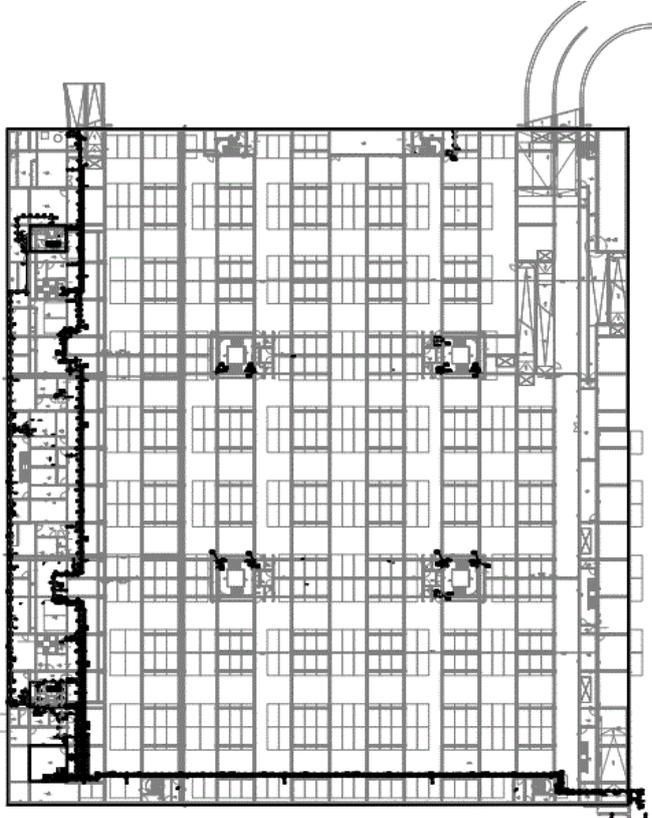


Figure 3.9 Plan du 2eme sous-sol

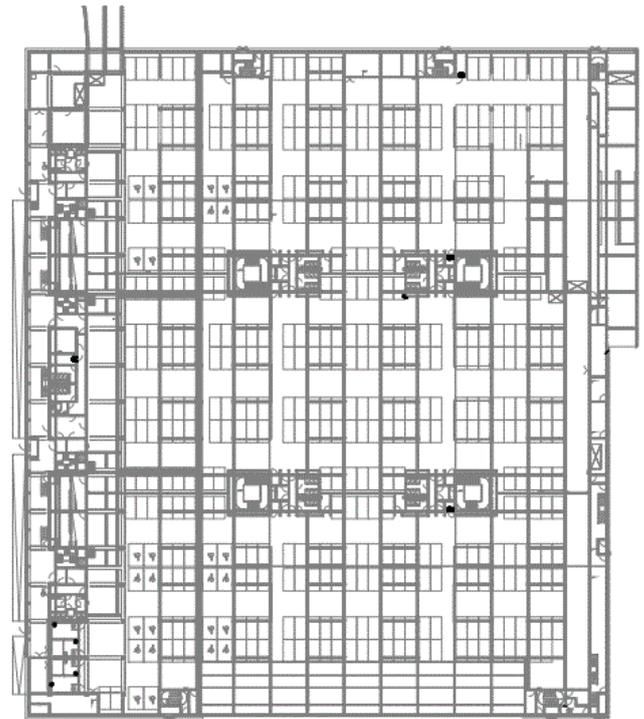


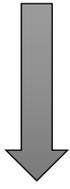
Figure 3.010 Plan du 2eme sous-sol

Dans ces figures on peut voir que les deux niveaux du parking sont identiques c'est à dire la même surface et le même nombre de places ce qui va nous aider par la suite car on obtiendra les mêmes résultats, la mise en place du réseau se fera sur le plan du 2eme sous-sol et on pourra après exporter le réseau au 1^{er} sous-sol.

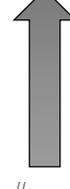
Le 2eme niveau du parking possède deux ouvertures vers l'extérieur une à gauche qui représente une entrée et l'autre a droit qui est la sortie, on y trouve aussi 10 cages d'escaliers cloisonnées qui mène vers les étages du dessus, ils sont repartis sur le parking d'une façon à ce que en cas de sinistre les personnes présentes peuvent les empruntée pour s'échapper

- 4 sont placer au milieu du parking
- 2 sur la façade nord
- 2 sur la façade du sud
- 2 sur la façade ouest là où il y a les locaux techniques

Entrée du parking



Sortie du parking



Les escaliers cloisonnés qui mène vers les étages du dessus sont entouré d'un cercle rouge

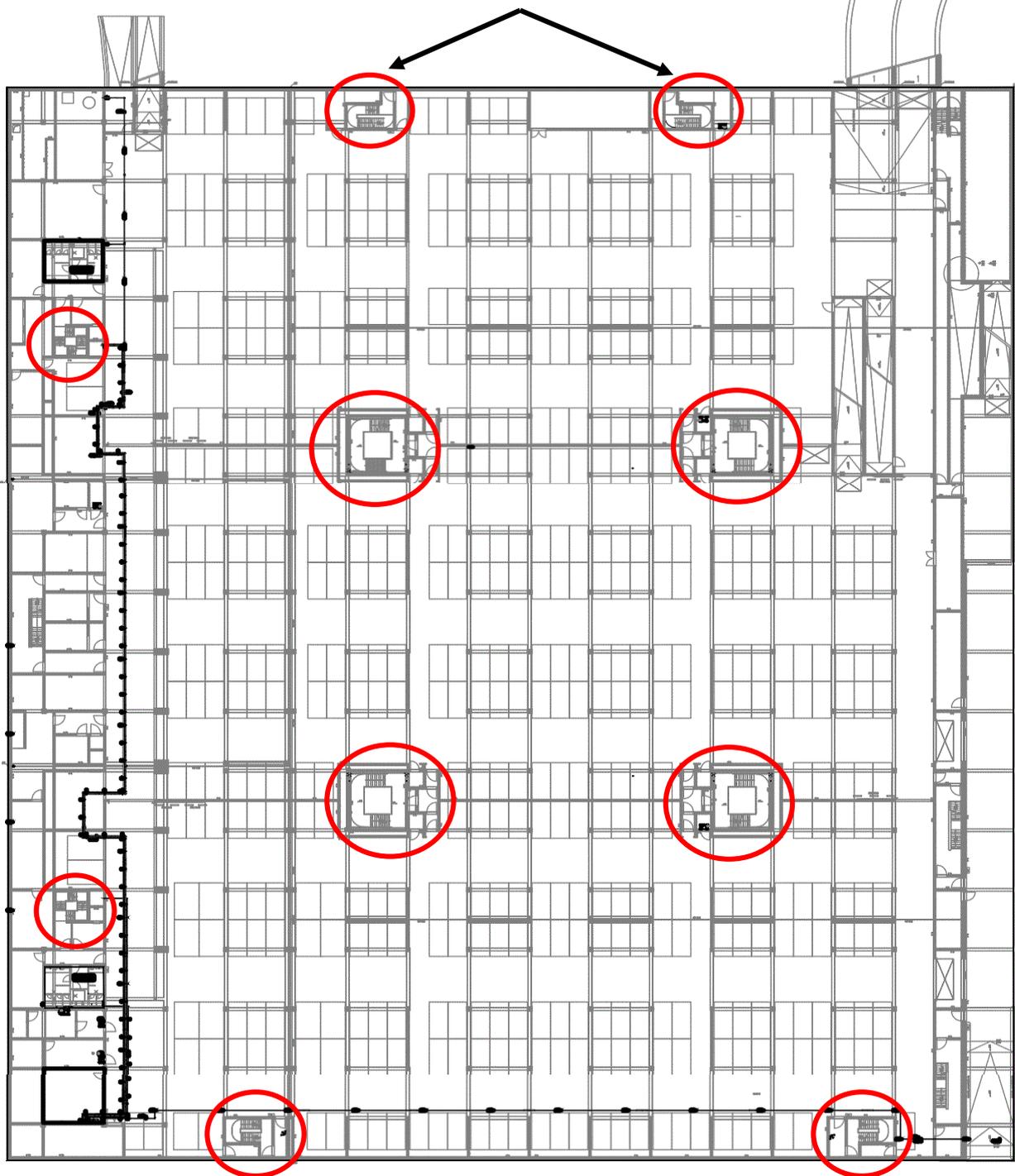


Figure 3. 11 Plan du 2eme sous-sol

3.3.4 Le compartimentage du parking

La première étape à faire dans un dimensionnement c'est de deviser le parking en compartiment qui seront par la suite séparée par des cloisons coup feu, selon l'article PS 12 de la réglementation de la sécurité incendie dans les ERP (Arrête du 9 mai 2006. A l'exception des parkings largement ventilés, chaque niveau et recoupée en compartiment inférieurs a $3000 m^2$ cette valeur peut être portée jusqu'à $3600 m^2$ sans la dépasse et cela concerne les parkings qui ne sont pas équipé d'un système d'extinction tel que les sprinklers.

Dans le cas où le parking possède un système d'extinction de type sprinklers ou autre la surface d'un compartiment peut être portée à $6000 m^2$ sans dépasser cette valeur.

Selon la règle les compartiments sont séparés par des parois coupe-feu 1h de type REI60 ou EI60, en ce qui concerne les portes qui sont placés sur ces parois ils doivent être par-flamme 1h.

Les baies de passage des véhicules et les portes qui se situent dans ces parois sont munies de dispositifs d'obturation par-flamme 1h, ces dispositifs sont à fermeture automatique et doublée d'une commande manuelle et cela conformément à la norme NF S 61-937 qui regroupe tous les DAS ou les dispositifs actionnés de sécurité qui font partie du système de mise en sécurité incendie et permettant d'assurer les fonctions de compartimentage, de désenfumage ou d'évacuation.

L'espace désenfumée concerne uniquement les surfaces où il y a des places de stationnement donc on exclut les locaux et les cages d'escalier qui ne font pas partie de la réglementation qu'on applique.

En tenant compte de la structure du parking et de $16\,000 m^2$ de surface on le divise sur trois parties de surface différentes comme le montre la figure suivante :

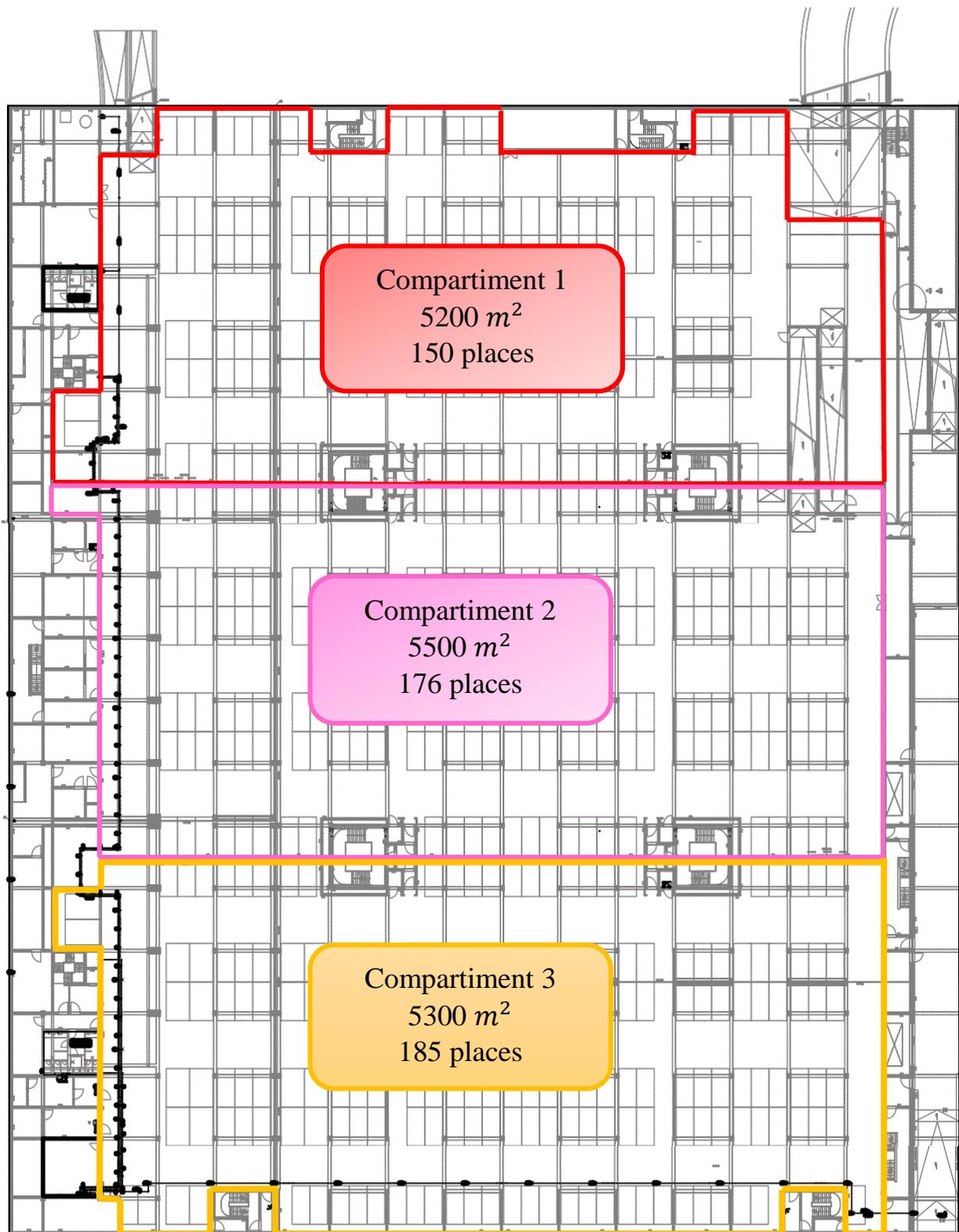


Figure 3.012 Les trois compartiments du parking

La séparation des compartiments est coupe-feu 1h et les escaliers sont cloisonnés par deux parois coupe-feu de 2h, afin résister au feu plus longtemps pour permettre aux personnes d'évacuée.

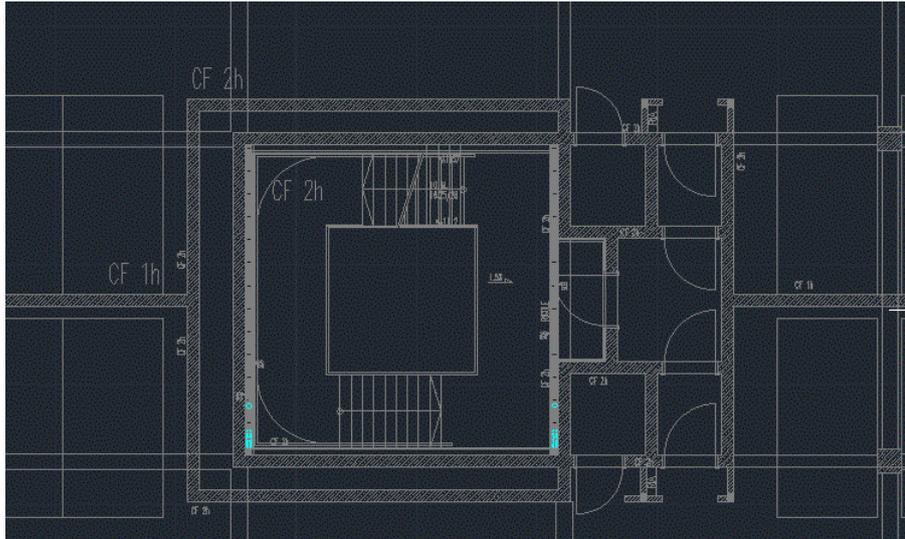


Figure 3. 13 : les parois des escaliers

Comme on a défini précédâmes les parois coupe-feu sont de type REI60 ou EI60 ces termes définissent des caractéristiques spécifiques pour les chantiers exigeant une résistance au feu telle qu'ils sont définis dans les euroclasses de réaction au feu :

- R : résistance mécanique ou stabilité
- E : étanchéité aux gaz et flammes
- I : isolation thermique (forcément utilisée en complément d'une classification R ou E)

Ces lettres sont suivies de deux ou trois chiffres qui représente le temps de résistance au feu. Les euroclasses sont venues dans l'arrêté du 21 novembre 2002 (réglementation française) relatif à la réaction au feu des produits de construction et d'aménagement, la réaction au feu et la résistance au feu sont deux notions différentes, elles sont codifiées de manière réglementaire.

La résistance au feu est le temps durant lequel un élément de construction conserve ses propriétés physiques et mécaniques, lors d'un incendie elle est analysée selon les 3 critères REI, et la réaction au feu c'est la manière dont un matériau (béton, bois, papier,...) va se comporter comme combustible. Cette réaction est définie après des essais normalisés au sein de centres agréés.

Il existe deux classements qui sont utilisée le classement français (Norme NF P. 92.507), composé de 5 catégories (M) ils vont des matériaux incombustibles jusqu'à les matériaux le plus inflammable

Tableau 30.1 Ancien classement feu français (M)

| Catégories | Combustibilité | Inflammabilité | Exemple |
|------------|----------------|---------------------------|---|
| M0 | Incombustible | Ininflammable | Pierre, brique, ciment, tuile, plomb, acier, ardoise, céramique, plâtre, béton, verre, laine de roche |
| M1 | Combustible | Non inflammable | Matériaux composites, PVC, dalles minérales de faux-plafonds, polyester, coton, bois ignifugé |
| M2 | Combustible | Difficilement inflammable | Moquette murale, panneau de particules |
| M3 | Combustible | Moyennement inflammable | Bois, revêtement sol caoutchouc, moquette polyamide, laine |
| M4 | Combustible | Facilement inflammable | Papier, polypropylène, tapis fibres mélangées |

La combustibilité est la quantité de chaleur émise par combustion complète du matériau tandis que l'inflammabilité est la quantité de gaz inflammable émise par le matériau.

Cette classification est établie par le CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment) et est appliquée pour les matériaux d'aménagement seulement car il a été remplacé par le classement de l'euroclasse qui tient en compte deux critères essentiels (tests en laboratoire) :

- ⇒ L'opacité des fumées (quantité et vitesse) notée s pour « smoke » :
- ✓ s1 : faible quantité/vitesse
 - ✓ s2 : moyenne quantité/vitesse
 - ✓ s3 : haute quantité/vitesse

- ⇒ Les gouttelettes et débris enflammés notés d pour « droplets » :
- ✓ d0 : aucun débris
 - ✓ d1 : aucun débris dont la combustion dure plus de 10 secondes
 - d2 : ni d0 ni d1

Tableau 30.2 Tableau de classement Euroclasse

| Classes selon NF EN 13501-1 | | | Exigences |
|-------------------------------------|----|----|-------------------|
| A1 | | | Incombustible |
| A2 | S1 | d0 | M0 |
| A2 | S1 | d1 | |
| | S2 | d0 | |
| | S3 | d1 | |
| B | S1 | d0 | M1 |
| | S2 | d1 | |
| | S3 | | |
| C | S1 | d0 | M2 |
| | S2 | d1 | |
| | S3 | | |
| D | S1 | d0 | M3 |
| | S2 | d1 | |
| | S3 | | |
| | | | M4 (non gouttant) |
| Toutes classes autres que E-d2 et F | | | M4 |

On peut aussi y trouver dans la classification française 3 catégorie de classement :

- ⇒ Stable au feu SF : l'élément de construction conserve, durant le temps indiqué, ses capacités de portance et d'autoportance
- ⇒ Pare-Flammes PF : l'élément est stable au feu et évite, durant le temps indiqué, l'avancée des flammes.
- ⇒ Coupe-Feu CF : l'élément est pare-flamme et évite, durant le temps indiqué, du côté non sinistré, la propagation des gaz de combustion et des fumées ainsi que de la chaleur.

L'isolation thermique correspond à un maximum de 180 °C en un point précis, et de 140 °C sur l'ensemble de la surface (une porte par exemple). Les critères SF, PF, et CF sont notés en fractions d'heures (1/4h, 1/2 h, 3/4 h, 1 h, 1 h 1/2, 2 h, 3 h, 4 h, 6 h)

3.3.5 Positionnement des bouches d'extraction et d'amenée d'air

Pour permettre un balayage homogène du parking on a divisé la surface à étudier en ligne séparée entre eux de 10 mètres pour couvrir la majorité de la surface ces lignes s'alterne de la couleur rouge qui représente l'extraction et de la couleur vert qui désigne l'amenée d'air comme le montre la figure suivante :

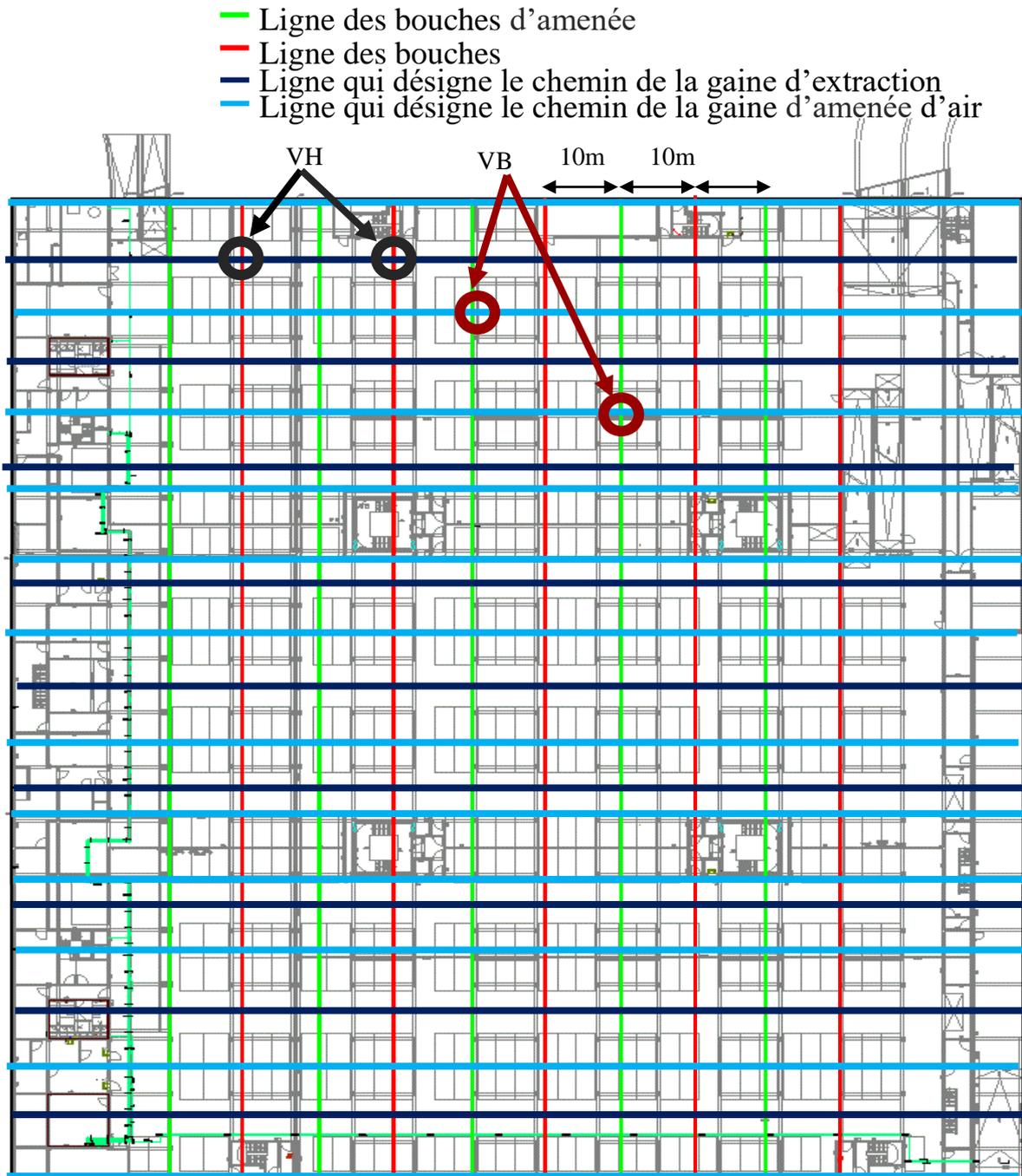


Figure 3.14 Positionnement des bouches d'extraction et d'amenée d'air

La section entre les lignes verticales rouge et les lignes horizontale bleu foncée représentent le positionnement des bouches VH et la section entre les lignes verticales vertes et les lignes horizontale bleu claire représentent le positionnement des bouches VB.

Les lignes horizontales définissent le positionnement du chemine de la gaine de désenfumage, ce chemin est réalisé de façon à ce qu'on prend en considération les structure du parking c'est-à-dire les piliers, les murs et aussi les tuyauteries.

Sur chaque voie de circulation on positionne une ligne d'extraction c'est-à-dire que dans chaque compartiment on possède 3 lignes de la gaine d'extraction de fumée. Et comme la réglementation énonce qu'il est préférable d'avoir le nombre de VB supérieur au nombre de VH, et en prenant compte de la surface libre, dans chaque compartiment on place donc 4 lignes de la gaine d'amenée d'air ce qui nous permet d'avoir un nombre de VB > VH, et qui va par la suite réaliser une amenée d'air assez pour pousser la fumée vers l'extérieur et aider à l'extraction.

3.3.6 Les calculs des débits d'extraction et d'amenée d'air

Le calcul de débits d'extraction d'air est en fonction des nombres de places de voiture dans chaque compartiment telle qu'il est énoncé dans l'Arrêté du 9 Mai 2006 de la réglementation française « La ventilation mécanique doit permettre un renouvellement d'air de 600 m³/h par voiture en présence des sprinklers ».

Cette méthode nous donne la valeur du débit total à extraire, dans ce cas pour avoir le débit de chaque grille, il faut d'abord divisée Q_{E_T} (débit total d'extraction) par le nombre de conduit d'extraction dans le compartiment et en suite on le divisée par le nombre total des grilles, on obtiendra Q_{grille_E} ce débit va nous permettre par la suite de choisir le dimensionnement des grilles.

En ce qui concerne les débits d'amenée d'air de chaque compartiment selon la règle il est égal à 60% du débit d'extraction par compartiment, et pour le débit de chaque grille c'est le même principe qu'avec l'extraction. En divisée Q_{A_T} (débit total d'amenée d'air) par le nombre de conduit d'amenée d'air dans le compartiment et en suite on le divisée par le nombre total des grilles, on obtiendra Q_{grille_A} , c'est la valeur qui va nous aider pour le dimensionnement des grilles d'amenée d'air. Les valeurs des débits pour chaque compartiment sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 3.3 Les débits d'extraction

| | Extraction | | |
|--------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Les débits | Compartment 1 | Compartment 2 | Compartment 3 |
| $Q_{E_T} (m^3/h)$ | 90 000 | 105 600 | 111 000 |
| $Q_{conduite_E} (m^3/h)$ | 30 000 | 35 200 | 37 000 |
| $Q_{grille_E} (m^3/h)$ | 6000 | 7040 | 7400 |

Tableau 3.4 Les débits d'amenée d'air

| | Amenée d'air | | |
|--------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Les débits | Compartment 1 | Compartment 2 | Compartment 3 |
| $Q_{A_T} (m^3/h)$ | 54 000 | 63 360 | 66 600 |
| $Q_{conduite_A} (m^3/h)$ | 13 500 | 15 840 | 16 650 |
| $Q_{grille_A} (m^3/h)$ | 2700 | 3168 | 3 330 |

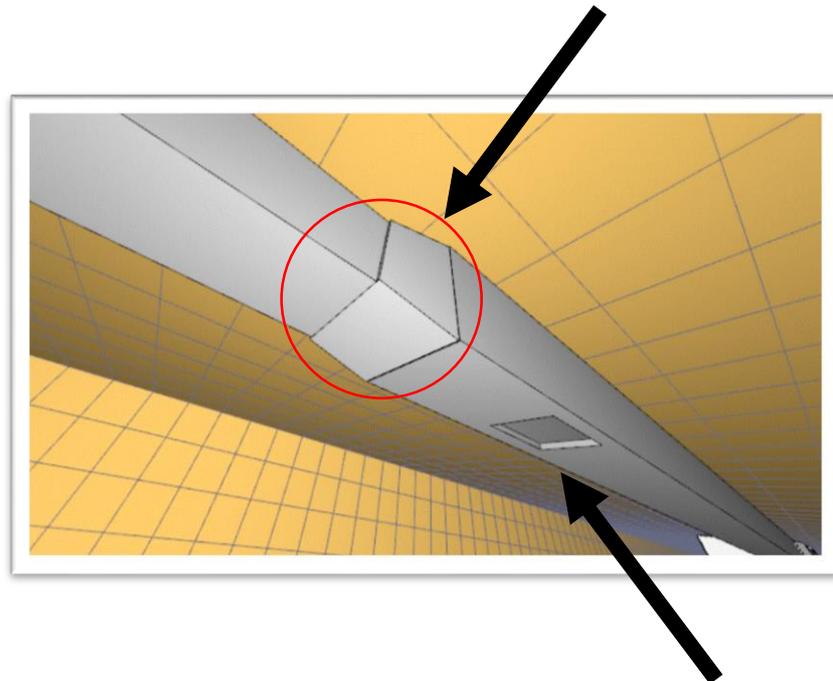
3.3.7 Dimensionnement des tronçons

Le dimensionnement des tronçons est important car chaque tronçons transport un débit différent, comme on dispose de 5 grilles d'extraction par conduite donc on aura 5 tronçons dans chaque conduite, ces tronçons sont dimensionnées de façon à ce qu'ils puissent transporter le débit voulu.

Pour avoir les dimensionnements exacts des tronçons il faut applique la formule « $Q = v \times S$ » elle est très importante car elle nous permettra de déterminer la surface de la section dans un conduit de débit connu, et comme la vitesse de circulation du fluide en mouvement dans la gaine doit être entre 8 m/s et 10 m/s en extraction et ne dépasse pas 5m/s dans l'amenée d'air donc on pourra déduire les dimensions des tronçons

A chaque fois que le fluide avance dans la conduite la section rétrécit car le débit diminue après chaque gille.

Changement de dimension



Grille extraction

Figure 3.15 Illustration 3D du changement de dimension sur FDS

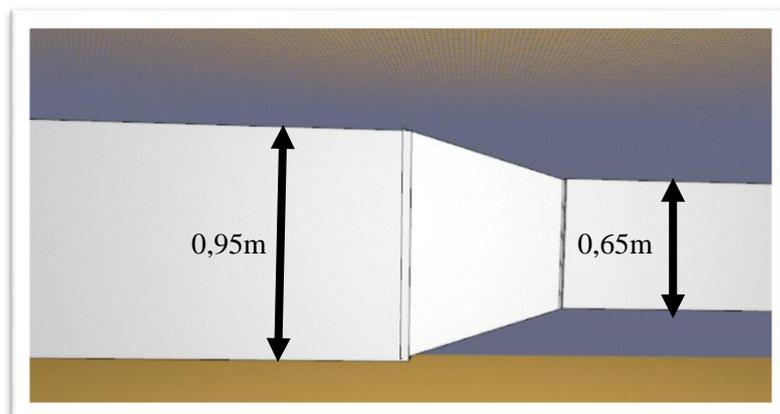


Figure 3.16 Illustration 2D du changement de dimension sur FDS

Ce changement de dimension dépend à chaque fois du débit qui passe dans la conduite, ce dernier peut être réalisé de trois façons pour qu'il soit adapté à l'environnement là où il est placé comme le montre la figure suivante :

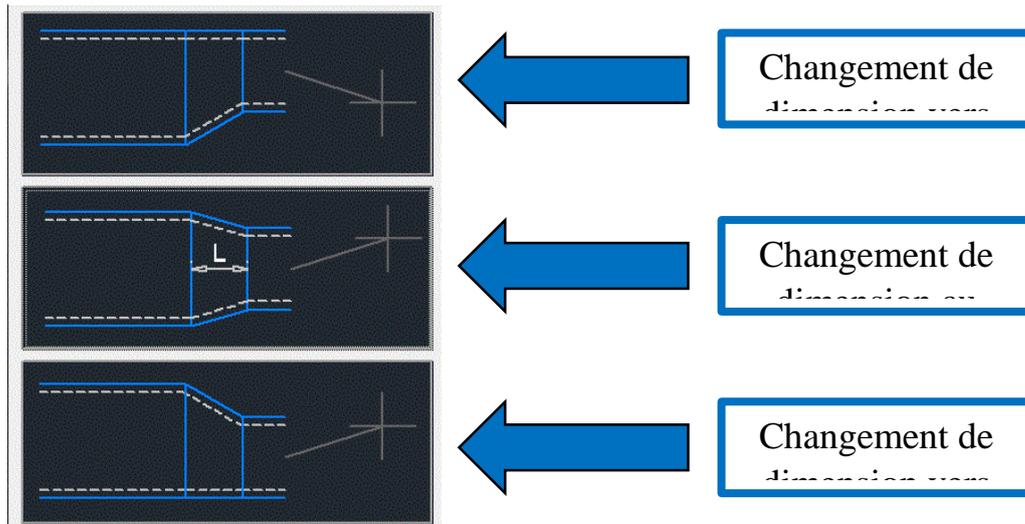


Figure 3.17 Choix de la direction du changement de dimension sur AutoFluid

Pour le dimensionnement des tronçons on va utiliser une nomenclature codifiée de ces tronçons toute d'abord définir s'il s'agit de la gaine d'amenée d'air ou celle de l'extraction on met un (E) pour l'extraction et un (A) pour l'amenée d'air en suite on définit sur quelle compartiment cette conduite est placée compartiment (1, 2, 3) après cela on définit le numéro du tronçon.

Exemple : E.1.3.3 il s'agit de la gaine d'extraction dans le compartiment 1 de la conduite 3 sur le 3eme tronçon, (voir figure suivante)

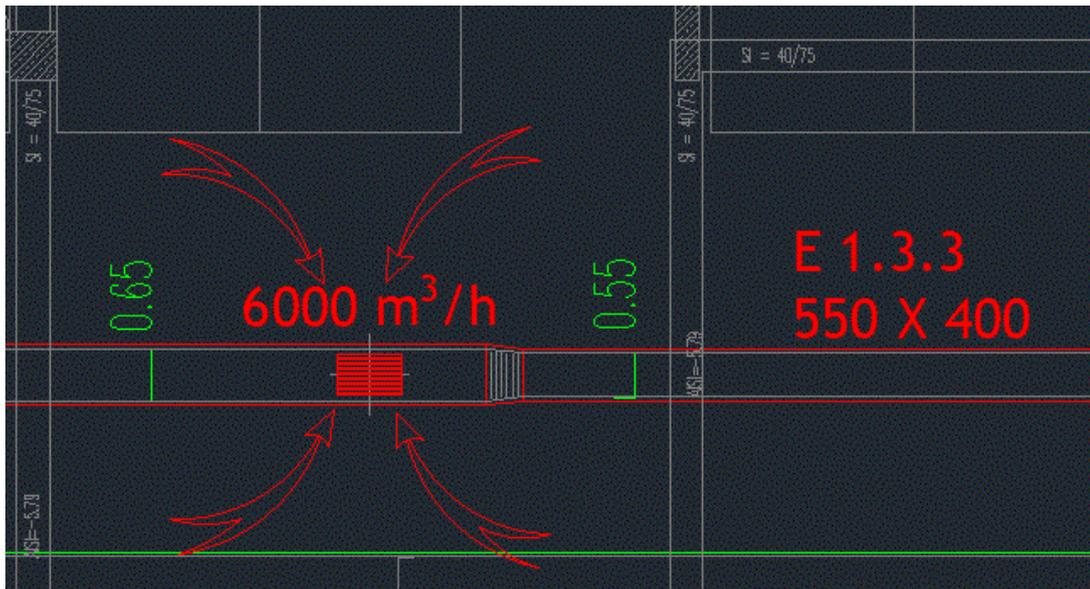
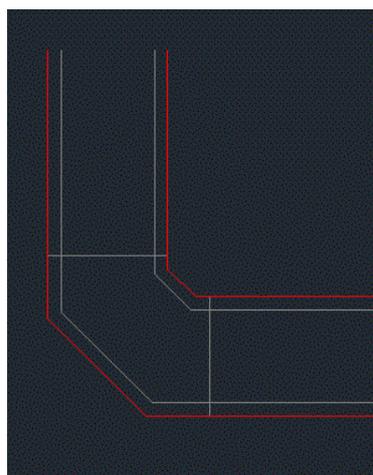
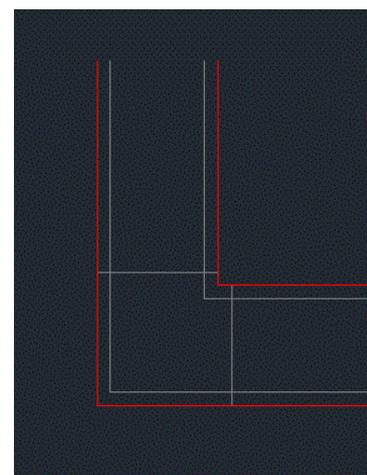


Figure 3.18 Démonstration du changement de dimension sur AutoCAD

Il faut aussi savoir qu'il y a plusieurs fonctionnalités sur Autofluid qui permet de diriger la gaine si par exemple on veut faire un changement de direction on a le choix entre un coude droit ou un coude chanfrein on les utilise selon le besoin



Coude chanfrein



Coude droit

Figure 3. 19 Les deux types de coudes qui existe sur Autofluid

Durant le cheminement des gaines il se peut qu'on aura besoin de faire un piquage c'est à dire de diviser la ligne en deux ou de faire un piquage vers le haut ou vers le bas comme le montre la figure suivante :

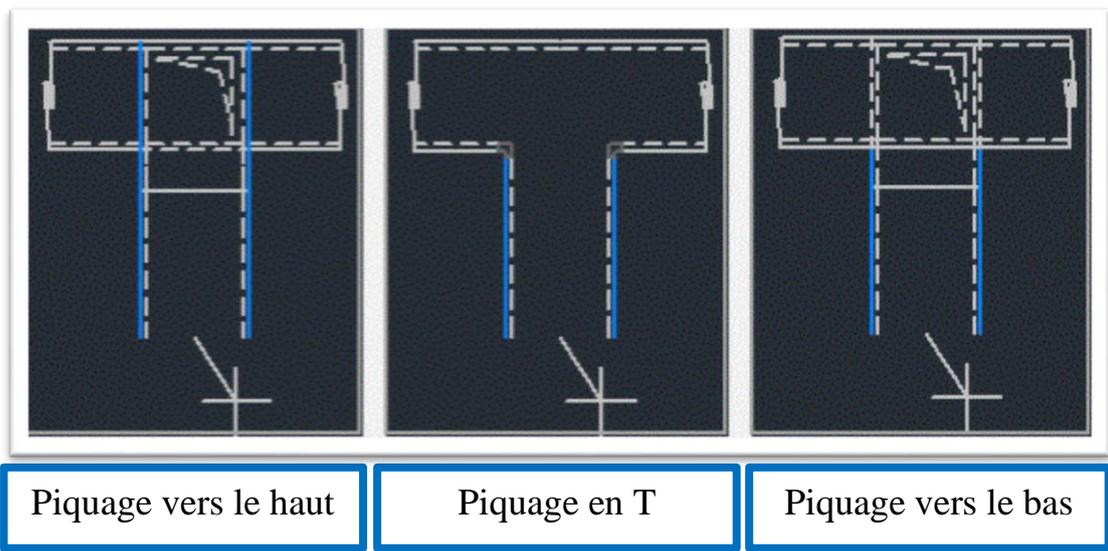


Figure 3.20 Les trois types de piquage qui existe sur Autofluid

Le piquage peut aussi concernée la montée de la conduite vers la tourelle ou le caisson de ventilation et il est représenté d'une manière différente qu'un piquage ordinaire

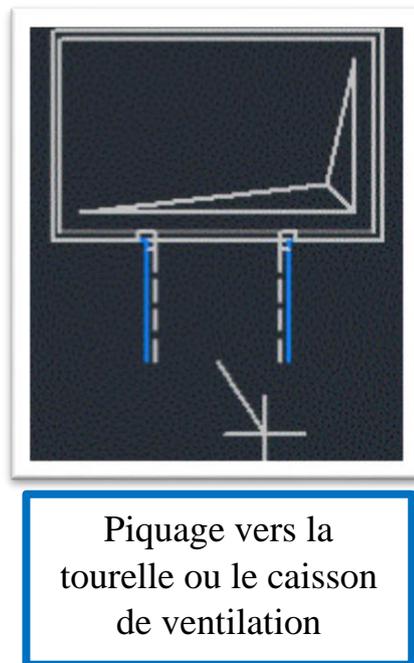


Figure 3.21 Piquage vers la tourelle ou le caisson de ventilation

Après avoir défini tout ce qui concerne la mise en place des gaines de désenfumage sur Autofluid, les dimensions utilisées dans cette étude sont dans les tableaux suivant :

Tableau 3.5 Dimensionnement des conduites en T du compartiment 1

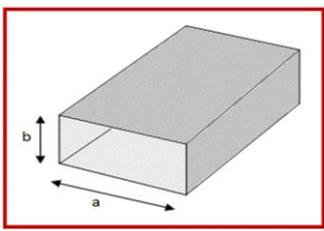
|  | Le dimensionnement des conduites 1 et 3 pour le compartiment 1 sont divisée par un piquage en T | | | | |
|---|---|-------------|--------------------------|---------------------------|---------------|
| | Côté a [mm] | Côté b [mm] | Diamètre équivalent [mm] | Débit (m ³ /h) | Vitesse [m/s] |
| 1^{er} partie conduite | | | | | |
| E 1.1.1 = E 1.3.1 | 950 | 650 | 862.28 | 18000 | 8.57 |
| E 1.1.2 = E 1.3.2 | 650 | 650 | 715.81 | 12000 | 8.29 |
| E 1.1.3 = E 1.3.3 | 550 | 400 | 515.23 | 6000 | 8.0 |
| 2^{eme} partie conduite | | | | | |
| E 1.1.4 = E 1.3.4 | 800 | 550 | 727.94 | 12000 | 8.01 |
| E 1.1.5 = E 1.3.5 | 550 | 400 | 515.23 | 6000 | 8.00 |

Tableau 3. 6 Dimensionnement de la conduite du compartiment 1

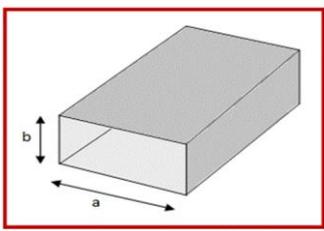
|  | Le dimensionnement des conduites 2 pour le compartiment 1 | | | | |
|---|---|-------------|--------------------------|---------------------------|---------------|
| | Côté a [mm] | Côté b [mm] | Diamètre équivalent [mm] | Débit (m ³ /h) | Vitesse [m/s] |
| E 1.2.1 | 1100 | 950 | 1125.15 | 30000 | 8.39 |
| E 1.2.2 | 950 | 900 | 1018.21 | 24000 | 8.19 |
| E 1.2.3 | 900 | 700 | 872.21 | 18000 | 8.36 |
| E 1.2.4 | 800 | 550 | 727.94 | 12000 | 8.01 |
| E 1.2.5 | 550 | 400 | 515.23 | 6000 | 8.00 |

Tableau 3.7 Dimensionnement des conduites du compartiment 2

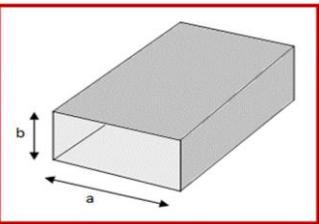
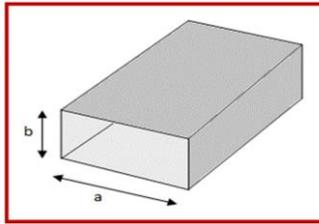
|  | Le dimensionnement des conduites (1, 2,3) pour le compartiment 2 | | | | |
|---|--|-------------|--------------------------|--------------|---------------|
| | Côté a [mm] | Côté b [mm] | Diamètre équivalent [mm] | Débit (m3/h) | Vitesse [m/s] |
| E 2.1.1 = E 2.2.1 = E 2.3.1 | 1100 | 1100 | 1211.37 | 35200 | 8.49 |
| E 2.1.2 = E 2.2.2 = E 2.3.2 | 1000 | 1000 | 1101.25 | 28160 | 8.22 |
| E 2.1.3 = E 2.2.3 = E 2.3.3 | 900 | 850 | 963.12 | 21120 | 8.06 |
| E 2.1.4 = E 2.2.4 = E 2.3.4 | 700 | 700 | 770.87 | 14080 | 8.38 |
| E 2.1.5 = E 2.2.5 = E 2.3.5 | 500 | 500 | 550.62 | 7040 | 8.22 |

Tableau 3. 8 Dimensionnement des conduites du compartiment 3

|  | Le dimensionnement des conduites (1, 2,3) pour le compartiment 3 | | | | |
|--|--|-------------|--------------------------|--------------|---------------|
| | Côté a [mm] | Côté b [mm] | Diamètre équivalent [mm] | Débit (m3/h) | Vitesse [m/s] |
| E 3.1.1 = E 3.2.1 = E 3.3.1 | 1100 | 1100 | 1211.37 | 37000 | 8.92 |
| E 3.1.2 = E 3.2.2 = E 3.3.2 | 1000 | 1000 | 1101.25 | 29600 | 8.64 |
| E 3.1.3 = E 3.2.3 = E 3.3.3 | 900 | 900 | 963.12 | 22200 | 8.00 |
| E 3.1.4 = E 3.2.4 = E 3.3.4 | 700 | 700 | 770.87 | 14800 | 8.81 |
| E 3.1.5 = E 3.2.5 = E 3.3.5 | 500 | 500 | 550.62 | 7400 | 8.64 |

En ce qui concerne l'amenée d'air ce fait du même principe que l'extraction dans notre étude nous avons utilisé trois mode de cheminements des conduits une conduites en T (3/2), une conduite ordinaire sans piquage, et une conduite T (1/4).

⇒ *Amenée d'air du compartiment 1 :*

Tableau 3.9 Le dimensionnement des conduites (1) pour le compartiment 1

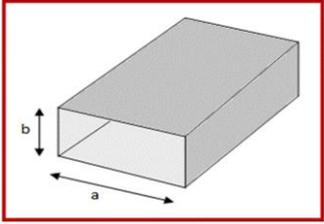
|  | Le dimensionnement des conduites (1) pour le compartiment 1 | | | | |
|---|---|-------------|--------------------------|---------------------------|---------------|
| | Côté a [mm] | Côté b [mm] | Diamètre équivalent [mm] | Débit (m ³ /h) | Vitesse [m/s] |
| 1 ^{er} partie de conduite | | | | | |
| A 1.1.1 | 500 | 300 | 423.77 | 2700 | 5.32 |
| 2 ^{eme} partie conduite | | | | | |
| A 1.1.2 | 950 | 650 | 862.28 | 10800 | 5.14 |
| A 1.1.3 | 650 | 650 | 715.81 | 8100 | 5.59 |
| A 1.1.4 | 550 | 550 | 605.69 | 5400 | 5.21 |
| A 1.1.5 | 500 | 300 | 423.77 | 2700 | 5.32 |

Tableau 3.10 Le dimensionnement des conduites (2,3) pour le compartiment 1

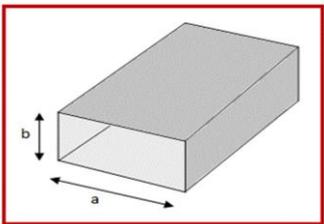
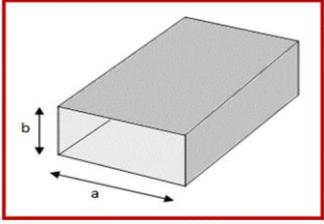
|  | Le dimensionnement des conduites (2,3) pour le compartiment 1 | | | | |
|---|---|-------------|--------------------------|---------------------------|---------------|
| | Côté a [mm] | Côté b [mm] | Diamètre équivalent [mm] | Débit (m ³ /h) | Vitesse [m/s] |
| A 1.2.1 = A 1.3.1 | 1000 | 750 | 951.74 | 13500 | 5.27 |
| A 1.2.2 = A 1.3.2 | 750 | 750 | 825.93 | 10800 | 5.60 |
| A 1.2.3 = A 1.3.3 | 650 | 650 | 715.81 | 8100 | 5.59 |
| A 1.2.4 = A 1.3.4 | 550 | 550 | 605.69 | 5400 | 5.21 |
| A 1.2.5 = A 1.3.5 | 500 | 300 | 423.77 | 2700 | 5.32 |

Tableau 3.11 Le dimensionnement des conduites (4) pour le compartiment 1

|  | Le dimensionnement des conduites (4) pour le compartiment 1 | | | | |
|---|---|-------------|--------------------------|--------------|---------------|
| | Côté a [mm] | Côté b [mm] | Diamètre équivalent [mm] | Débit (m3/h) | Vitesse [m/s] |
| 1 ^{er} partie de conduite | | | | | |
| A 1.4.1 | 700 | 650 | 742.73 | 8100 | 5.20 |
| A 1.4.2 | 550 | 550 | 605.69 | 5400 | 5.21 |
| A 1.4.3 | 500 | 300 | 423.77 | 2700 | 5.32 |
| 2 ^{eme} partie conduite | | | | | |
| A 1.4.4 | 550 | 550 | 862.28 | 5400 | 5.21 |
| A 1.4.5 | 500 | 300 | 715.81 | 2700 | 5.32 |

⇒ Amenée d'air du compartiment 2 :

Tableau 3.12 Le dimensionnement des conduites (1) pour le compartiment 2

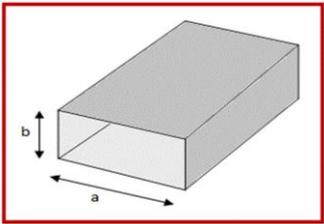
|  | Le dimensionnement des conduites (1) pour le compartiment 2 | | | | |
|---|---|-------------|--------------------------|--------------|---------------|
| | Côté a [mm] | Côté b [mm] | Diamètre équivalent [mm] | Débit (m3/h) | Vitesse [m/s] |
| 1 ^{er} partie de conduite | | | | | |
| A 2.1.5 | 500 | 350 | 459.23 | 3168 | 5.32 |
| 2 ^{eme} partie conduite | | | | | |
| A 2.1.1 | 850 | 850 | 936.06 | 12672 | 5.12 |
| A 2.1.2 | 700 | 700 | 770.87 | 9504 | 5.66 |
| A 2.1.3 | 600 | 600 | 660.75 | 6336 | 5.14 |
| A 2.1.4 | 500 | 350 | 459.23 | 3168 | 5.32 |

Tableau 3. 13 Le dimensionnement des conduites (2,3) pour le compartiment 2

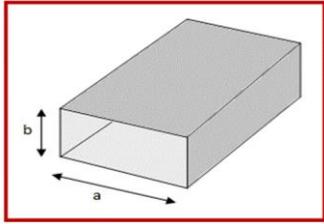
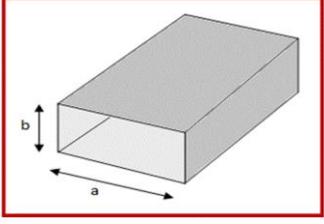
|  | Le dimensionnement des conduites (2,3) pour le compartiment 2 | | | | |
|---|---|-------------|--------------------------|---------------------------|---------------|
| | Côté a [mm] | Côté b [mm] | Diamètre équivalent [mm] | Débit (m ³ /h) | Vitesse [m/s] |
| A 2.2.1 = A 2.3.1 | 950 | 950 | 1046.18 | 15840 | 5.12 |
| A 2.2.2 = A 2.3.2 | 850 | 850 | 936.06 | 12672 | 5.12 |
| A 2.2.3 = A 2.3.3 | 850 | 650 | 817.09 | 9504 | 5.04 |
| A 2.2.4 = A 2.3.4 | 650 | 550 | 657.99 | 6336 | 5.18 |
| A 2.2.5 = A 2.3.5 | 500 | 350 | 459.23 | 3168 | 5.32 |

Tableau 3 14 Le dimensionnement des conduites (4) pour le compartiment 2

|  | Le dimensionnement des conduites (4) pour le compartiment 2 | | | | |
|--|---|-------------|--------------------------|---------------------------|---------------|
| | Côté a [mm] | Côté b [mm] | Diamètre équivalent [mm] | Débit (m ³ /h) | Vitesse [m/s] |
| 1 ^{er} partie de conduite | | | | | |
| A 2.4.1 | 800 | 650 | 793.27 | 9504 | 5.34 |
| A 2.4.2 | 650 | 550 | 657.99 | 6336 | 5.18 |
| A 2.4.3 | 500 | 350 | 459.23 | 3168 | 5.32 |
| 2 ^{eme} partie conduite | | | | | |
| A 2.4.4 | 650 | 550 | 657.99 | 6336 | 5.18 |
| A 2.4.5 | 500 | 350 | 459.23 | 3168 | 5.32 |

⇒ Amenée d'air du compartiment 3

Tableau 3.15 Le dimensionnement des conduites (1) pour le compartiment 3

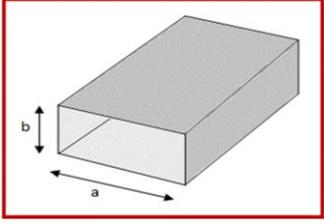
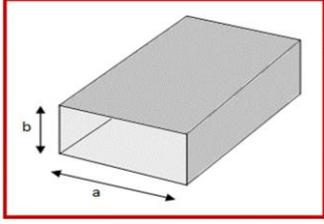
|  | Le dimensionnement des conduites (1) pour le compartiment 3 | | | | |
|---|---|-------------|--------------------------|--------------|---------------|
| | Côté a [mm] | Côté b [mm] | Diamètre équivalent [mm] | Débit (m3/h) | Vitesse [m/s] |
| 1 ^{er} partie de conduite | | | | | |
| A 3.1.1 | 900 | 650 | 840.07 | 9990 | 5.01 |
| A 3.1.2 | 650 | 550 | 657.99 | 6660 | 5.44 |
| A 3.1.3 | 550 | 350 | 480.73 | 3330 | 5.10 |
| 2 ^{eme} partie conduite | | | | | |
| A 3.1.4 | 650 | 550 | 657.99 | 6660 | 5.44 |
| A 3.1.5 | 550 | 350 | 480.73 | 3330 | 5.10 |

Tableau 3.16 Le dimensionnement des conduites (2, 3,4) pour le compartiment 3

|  | Le dimensionnement des conduites (2, 3,4) pour le compartiment 3 | | | | |
|---|--|-------------|--------------------------|--------------|---------------|
| | Côté a [mm] | Côté b [mm] | Diamètre équivalent [mm] | Débit (m3/h) | Vitesse [m/s] |
| A 3.2.1 = A 3.3.1 = A 3.4.1 | 1000 | 900 | 1044.44 | 16650 | 5.40 |
| A 3.2.2 = A 3.3.2 = A 3.4.2 | 900 | 800 | 934.11 | 13320 | 5.40 |
| A 3.2.3 = A 3.3.3 = A 3.4.3 | 800 | 700 | 823.73 | 9990 | 5.21 |
| A 3.2.4 = A 3.3.4 = A 3.4.4 | 700 | 550 | 682.32 | 6660 | 5.06 |
| A 3.2.5 = A 3.3.5 = A 3.4.5 | 550 | 350 | 480.73 | 3330 | 5.10 |

3.4 Dimensionnement des grilles d'extraction

Les grilles d'extraction doivent avoir des dimensions précises adaptées à leurs débits Q_{grille_E} pour l'extraction et Q_{grille_A} pour l'amenée d'air, ces dimensions sont mise en place afin de minimiser les pertes de charge lors du passage de la fumée il faut aussi savoir que les lames des grilles sont purement esthétique et n'ont aucune utilité dans le processus de désenfumage.

Il existe plusieurs modèles de grille coupe-feu dans notre étude nous avons utilisée plusieurs et cela en se basant sur la surface des grilles qui est déduite de la relation :

$$Q_{\text{grille}} = V_{\text{flux}} \times S_{\text{grille}}$$

Sachant que :

$$V_{\text{flux}} = 8 \text{ (m/s)} = 28800 \text{ (m/h)} \quad \longrightarrow \text{ Pour l'extraction}$$

$$V_{\text{flux}} = 5 \text{ (m/s)} = 18000 \text{ (m/h)} \quad \longrightarrow \text{ Pour l'amenée d'air}$$

Après avoir déduit la surface des grilles en se référant sur le catalogue des grilles qui présente la section nette de passage S_n (m^2) et le débit de Transfer sous un ΔP de 2 ou 10 Pascal aussi les dimensions (la longueur et la largeur de la grille) ces données sont représentées sur des tables (voir Annexe).

Dans notre cas d'étude on doit prendre en considération la largeur minimale de la gaine c'est-à-dire du dernier tronçon de désenfumage et la surface S_{grille} pour choisir la grille adaptée au tronçon, il faut savoir qu'il existe 5 modèles de grilles chaque une possède sa propre table de données et ces caractéristiques, les grilles utilisées dans notre étude sont les suivantes :

Tableau 3 17 Dimensionnement des grilles du compartiment 1

| Compartiment 1 | | |
|---|------------|--------------|
| | Extraction | Amenée d'air |
| $Q_{\text{grille}} \text{ (m}^3/\text{h)}$ | 6000 | 2700 |
| $S_{\text{grille}} \text{ (m}^2)$ | 0.208 | 0.150 |
| Largeur minimale de la gaine (m) | 550 | 500 |
| Modèle de grille | GE 60 - XL | GZ 60 |
| Dimension de la grille [$B_n \times H_n$] (m) | 500 × 800 | 400 × 650 |

Tableau 3.18 Dimensionnement des grilles du compartiment 2

| Compartiment 2 | | |
|---|------------|--------------|
| | Extraction | Amenée d'air |
| $Q_{\text{grille}} (m^3/h)$ | 7040 | 3168 |
| $S_{\text{grille}} (m^2)$ | 0.244 | 0.176 |
| Largeur minimale de la gaine (m) | 500 | 500 |
| Modelé de grille | GE 60 - XL | GE 60 - XL |
| Dimension de la grille [$B_n \times H_n$] (m) | 400 × 1200 | 300 × 1200 |

Tableau 3 19 Dimensionnement des grilles du compartiment 3

| Compartiment 3 | | |
|---|-------------|--------------|
| | Extraction | Amenée d'air |
| $Q_{\text{grille}} (m^3/h)$ | 7400 | 3330 |
| $S_{\text{grille}} (m^2)$ | 0.257 | 0.185 |
| Largeur minimale de la gaine (m) | 500 | 550 |
| Modelé de grille | GE 120 - XL | GZ 60 |
| Dimension de la grille [$H_n \times B_n$] (m) | 400 × 1200 | 400 × 800 |

⇒ Les caractéristiques de la grille GE 60 – XL :

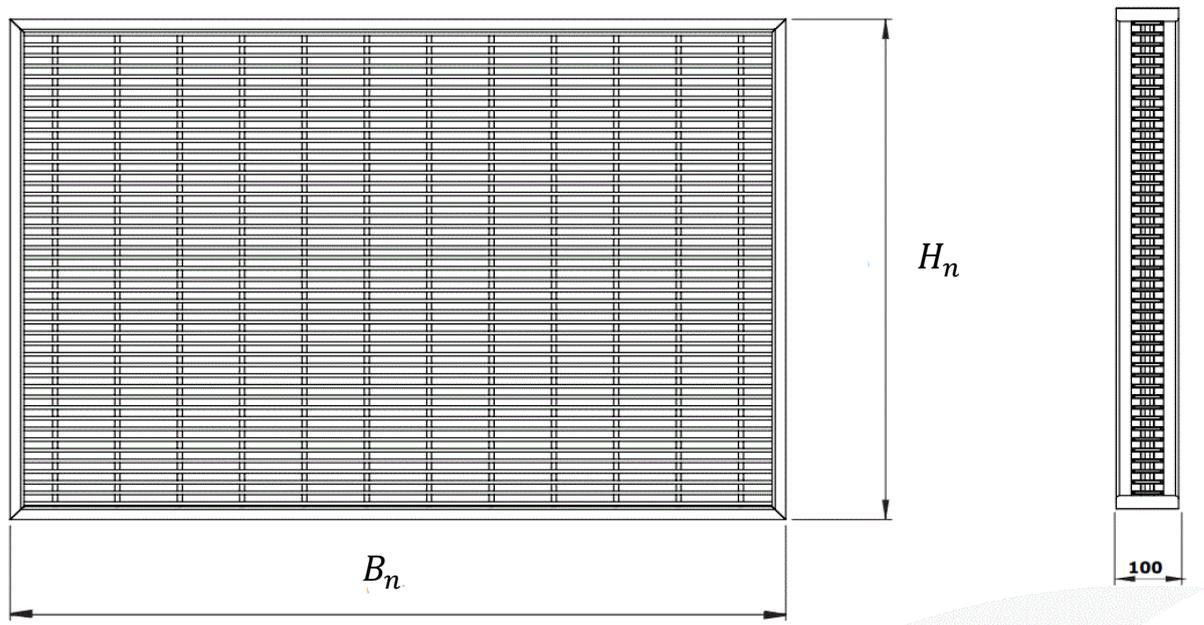
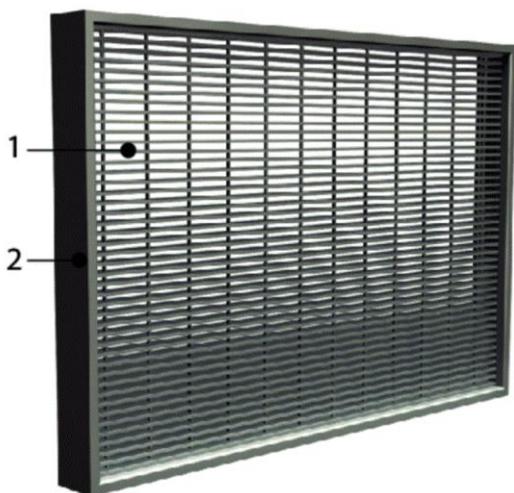


Figure 3.22 Dimensionnement grille GE 60 – XL

- ✓ La grille de ventilation coupe-feu Ge60-XL a été testée dans des châssis de support standardisés, conformément à la norme EN 1364-1.
- ✓ Classification Grille de ventilation coupe-feu EI 60
- ✓ Cette grille est utilisée dans le compartiment 2 et en compartiment 1 seulement en extraction.



- 1- Lamelles en matière synthétique, remplies de bandes intumescentes coupe-feu (à partir de 100°C)
- 2- Cadre renforcé en HDF

Figure 3.23 Grille GE 60 – XL

⇒ Les caractéristiques de la grille GE 120 – XL :

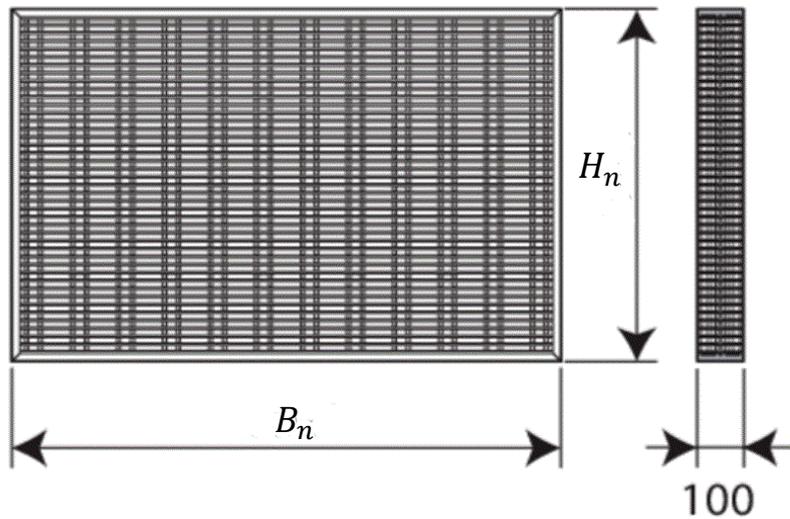


Figure 3. 24 Dimensionnement grille GE 120 - XL

- ✓ La grille de ventilation coupe-feu GE120-XL a été testée dans des châssis de support standardisés, conformément à la norme EN 1634-1/EN 1364-1/ EN 1364-2.
- ✓ Classification Grille de ventilation coupe-feu EI 120
- ✓ Cette grille est utilisée uniquement dans l'extraction du compartiment 3.



- 1- Cadre renforcé en HDF
- 2- Lamelles en matière synthétique, remplies de bandes intumescentes coupe-feu (à partir de 100°C)

Figure 3.25 Grille GE 120 - XL

⇒ Les caractéristiques de la grille GZ 60 :

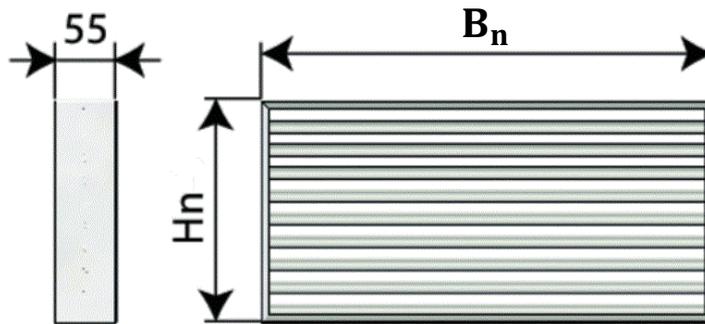


Figure 3.26 Dimensionnement grille GZ 60

- ✓ Testé conformément à EN 1634-1, EN 1364-1 et EN 1364-2
- ✓ Cadres de finition, également pour épaisseur variable
- ✓ Classification Grille de ventilation coupe-feu EI 60
- ✓ Cette grille est utilisée pour l'amenée d'air des compartiments 1 et 3



- 1- Lamelles en matière synthétique, remplies de bandes intumescents coupe-feu (à partir de 100°C).
- 2- Cadre de finition GzKF (option)

Figure 3.27 Grille GZ 60

3.4.1 La mise en place des grilles

La mise en place des grilles se fait sur Autofluide en utilisant la fonctionnalité boîte à grilles qui nous mènera vers une fenêtre pour choisir la forme de la grille sur le réseau telle qu'il est présent dans la figure suivante :

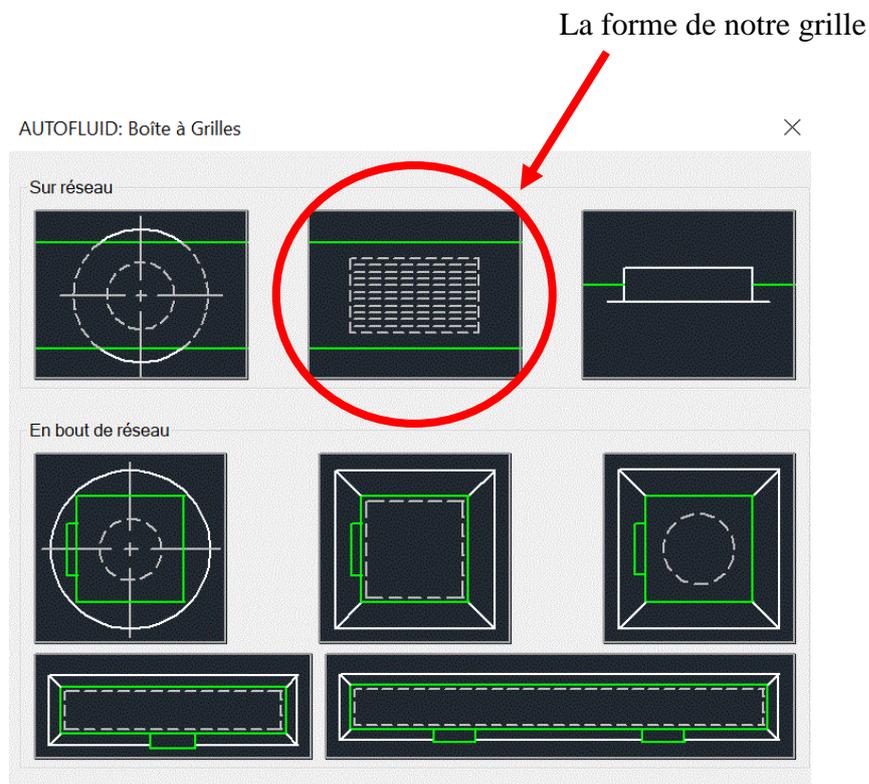


Figure 3. 28 La fonctionnalité boîte à grille

Par la suite autofluide nous mènera sur une autre fenêtre qui nous propose de choisir si c'est une extraction ou une grille de soufflage (Amenée d'air) sur cette fenêtre nous saisisons nos valeurs de dimensions des grilles pour chaque compartiment. Exemple de la conduite 2 d'extraction dans le compartiment 1 sur la figure suivante :

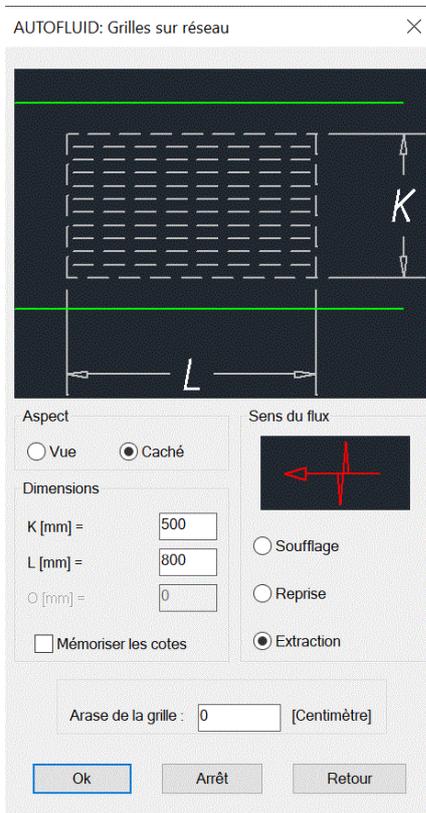


Figure 3. 29 grille d'extraction

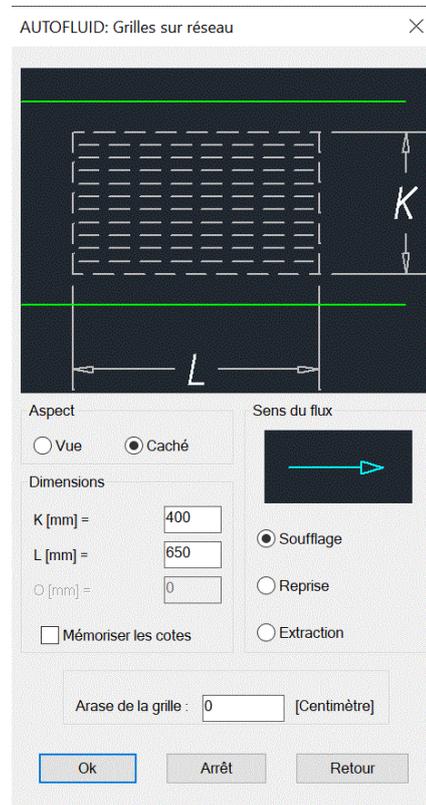


Figure 3.30 grille de soufflage

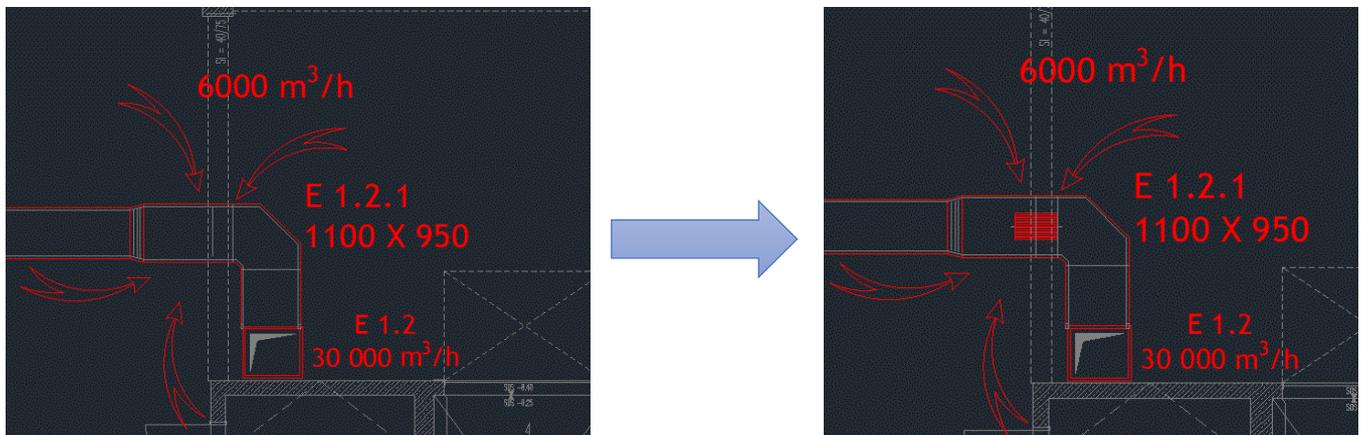


Figure 3. 31 La mise en place de la grille

En ce qui concerne les grilles d'amené d'air, comme ils sont au niveau bas dans le parking leur mise en place est différente que les grille d'extraction, ils sont mise en place par la fonctionnalité trappe de désenfumage en profil sur Autofluid qui affichera une fenêtre pour choisir les dimensions de la trappe ou la grille de soufflage. Exemple :

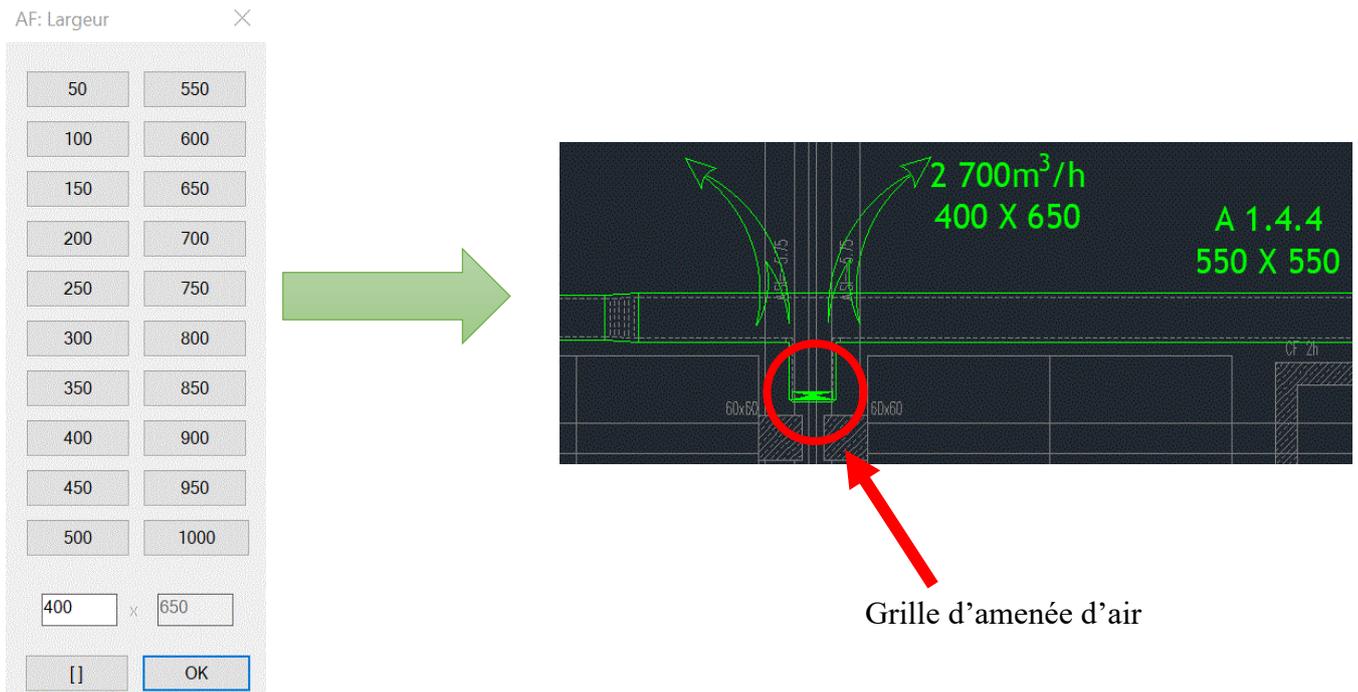


Figure 3. 32 Exemple de mise en place des grilles d'amenée d'air

Remarque : comme les grilles sont au niveau du sol dans le parking il faut donc s'armer a les placée a cotée des murs ou de piliers pour ne pas gêne la circulation, mais aussi de les placée le plus près de leur positionnement initial qui est à 10 mètre de bouche d'extraction.

3.4.2 La mise en place finale des gaines de désenfumage

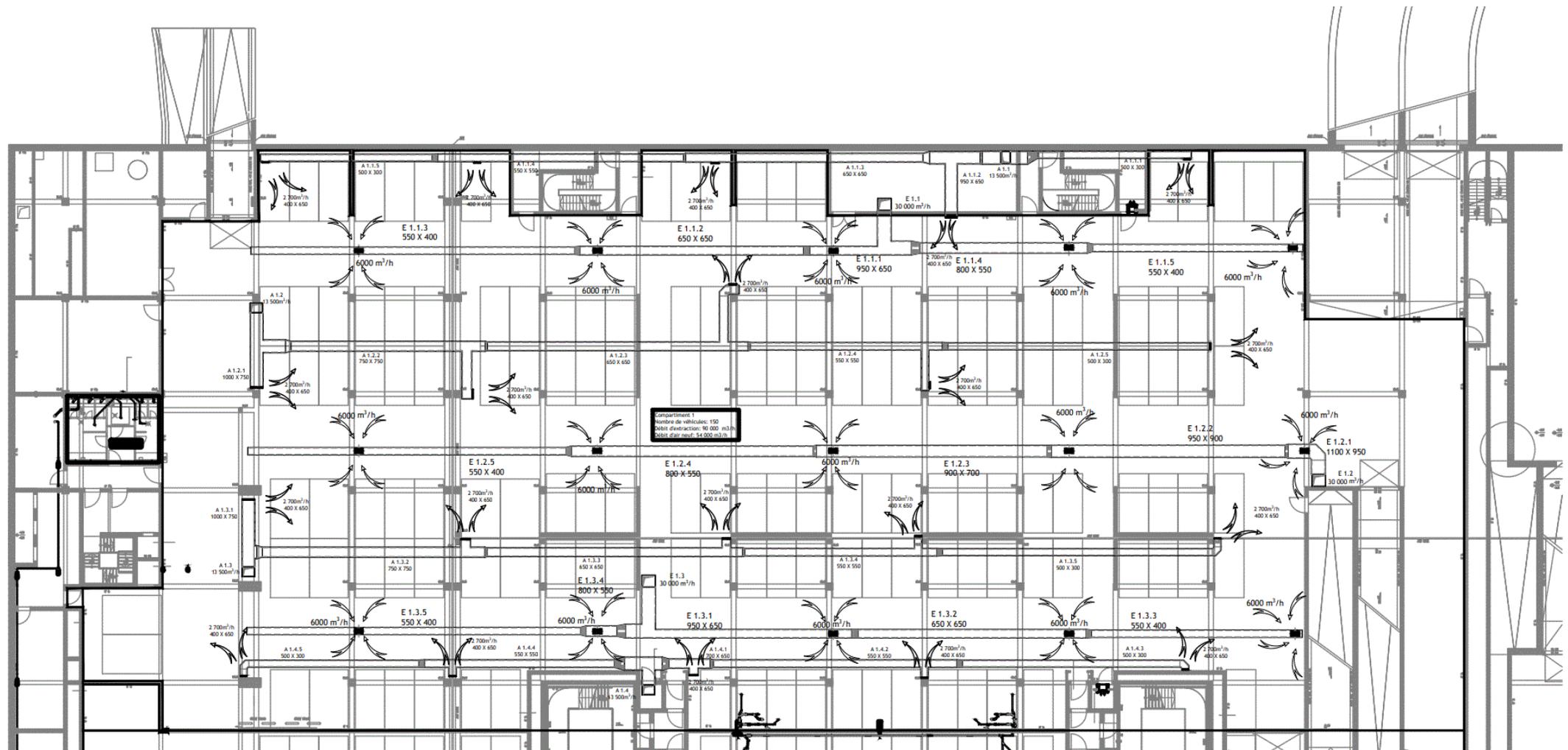


Figure 3.33 dimensionnement du compartiment 1 sur AutoCAD

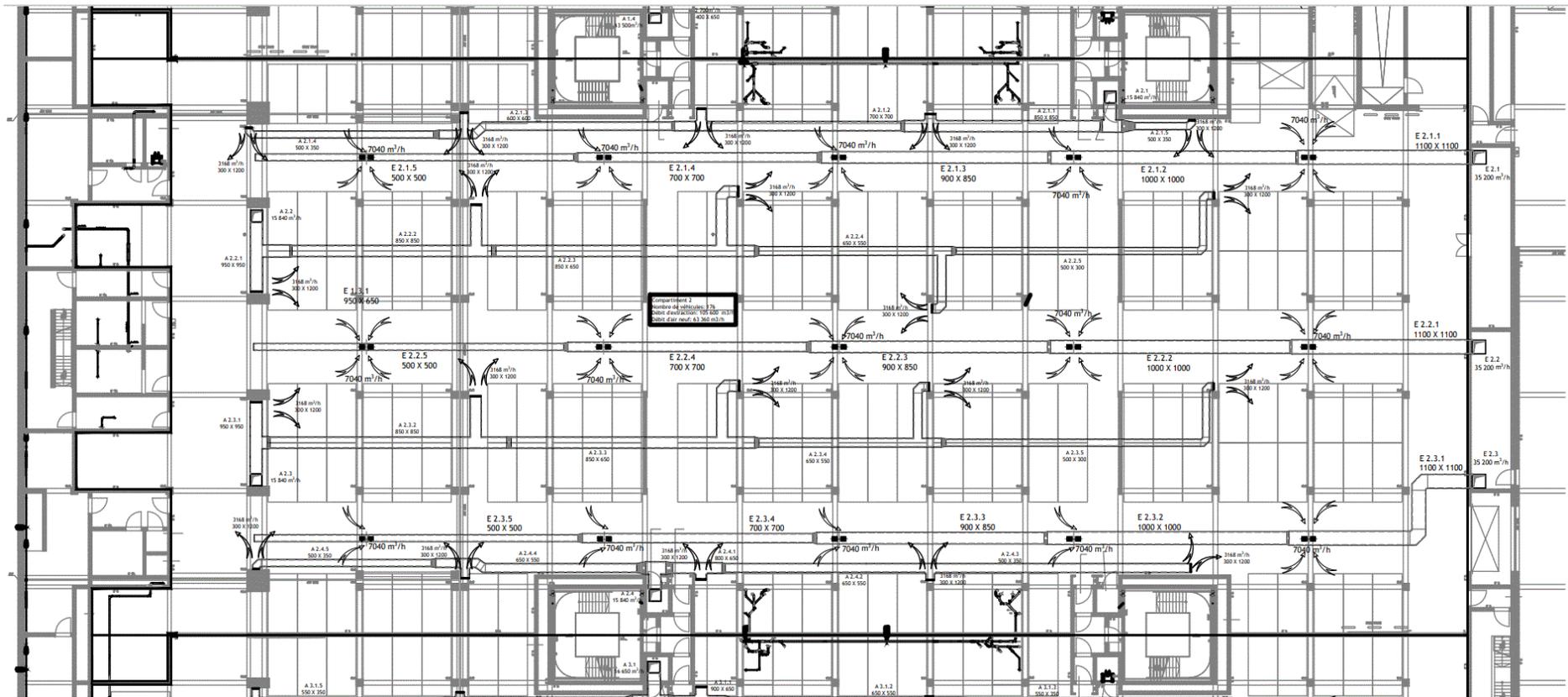


Figure 3.34 dimensionnement du compartiment 2 sur AutoCAD

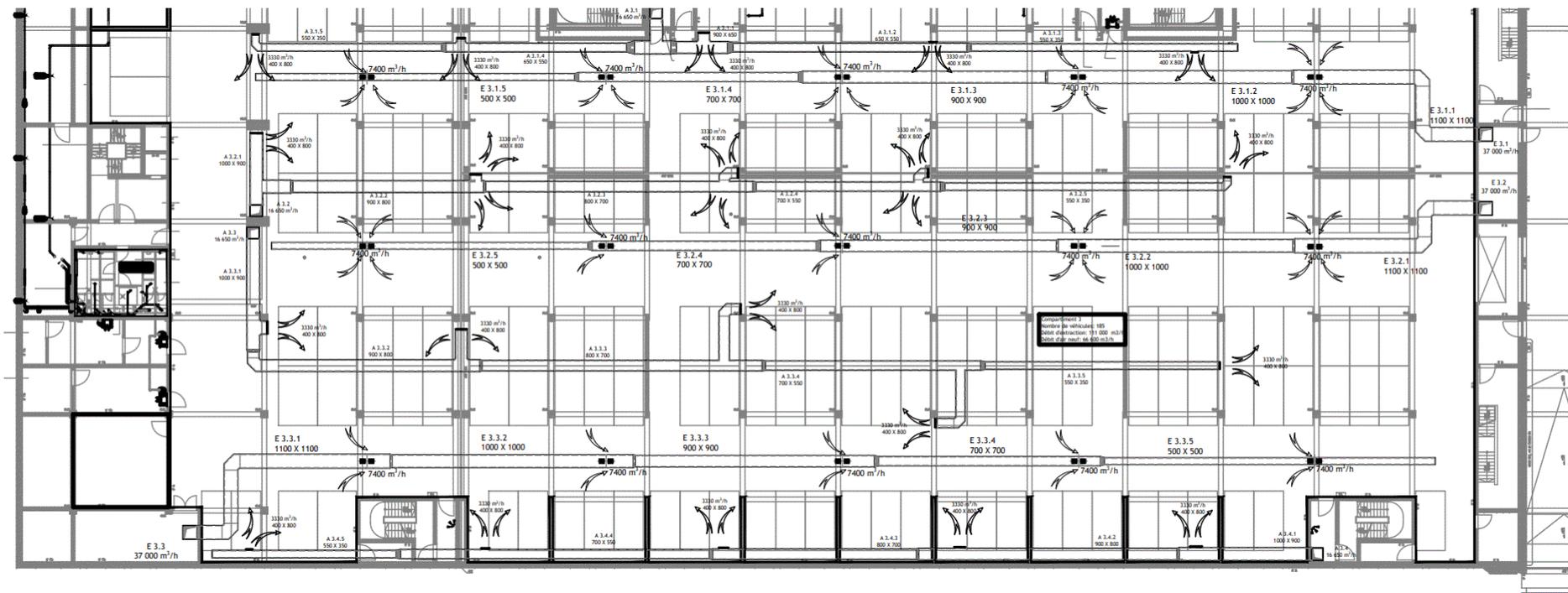


Figure 3.35 dimensionnement du compartiment 3 sur AutoCAD

Conclusion

Cette mise en place du dimensionnement est très importante pour assurer un désenfumage réussi lors d'un incendie

Du fait que les calculs sont pratiquement théoriques, le dimensionnement en pratique est plus complexe, on ne pourra pas être exactement précis dans la mise en place des gaines, car on doit satisfaire beaucoup de conditions et les adapter aux obstacles rencontrés dans la structure réelle du parking.

Pour une meilleure visualisation du comportement de la fumée lors d'un incendie, ainsi que la performance du système de désenfumage installé, nous allons réaliser une modélisation des impacts des différents scénarios identifiés précédemment à l'aide du logiciel au niveau du chapitre suivant.

Chapitre 4 : Modélisation à travers FDS

4.1 Introduction

La modélisation dans ce chapitre est un outil qui nous a permis de vérifier nos données mise en place les dimensions calculées auparavant et les débits, nous allons prendre sur cette partie trois scénarios d'incendie qui seront proche de la réalité afin de voir comment la fumée va être dispersée et si le dimensionnement pris au départ est efficace, Dans le cadre de ce travail, l'outil numérique utilisé est le code FDS qui va être décrit dans le présent chapitre.

4.2 Description du code FDS

FDS est un outil efficace pour les études dynamique d'un feu, il peut nous fournir plusieurs paramètres qui vont nous permettre d'évaluer notre étude, de décrire et restitue le phénomène de la manière la plus fidèle possible à la réalité.

Le code de calcul FDS a été développé par le NIST (National Institute of Standards and Technology), c'est un logiciel CFD (Computational Fluid Dynamics), il se base sur la résolution des équations de Navier-Stokes pour les écoulements avec transfert de chaleur. La première version de FDS a été publiée en Février 2004, et la version utilisée dans la présente étude est la version 6. [13]

Ce code a été spécialement développé dans le but de modéliser les conséquences d'incendie et de prévoir la vitesse de propagation de la fumée, de températures, et la visibilité, ces paramètres sont déterminés avec une précision de 5 à 20% par rapport aux résultats expérimentaux selon la qualité du maillage.

Pour simuler un phénomène d'incendie en utilisant FDS on passe par trois étapes primordiales qu'on peut trouver dans chaque logiciel CFD, la première étape consiste à établir un fichier d'entrée de type texte dans la quel on spécifier notre dimensionnement et les géométries de la structure à étudier, cette étape est définie comme Pré-processeur c'est-à-dire avant le calcul mettre les bases du projet sous-forme de code sur un fichier.

La deuxième étape est définie en tant que solveur, c'est l'étape ou le logiciel commence le calcul des différents paramètres : la température, la densité, la vitesse et autres quantités variées. L'utilisateur doit choisir soigneusement quelles informations devrait-il enregistrer.

La dernière étape nommée l'étape post-processeur nous donne les résultats de la simulation sur un programme compagnon appelé Smokeview, il nous permet de visualisée des images et des animations à partir des résultats de calcul de ce dernier. Dernièrement, ses développeurs l'ont rendu apte à produire des visualisations du feu et des fumées d'une façon très réaliste.



Figure 4.1 fonctionnement de FDS

⇒ FDS peut être utilisé pour modéliser les phénomènes suivants :

- Transport de la chaleur et des produits de combustion (principalement les fumées), à faible vitesse.
- Transferts de chaleur entre les solides et les gaz.
- Pyrolyse.
- Développement du feu.
- Propagation du feu.
- Activation d'extincteurs de feu et détecteurs de la chaleur

4.2 Pyrosim

Pyrosim est une interface et un générateur de code adapté au travail sur des modèles de FDS, il nous permet de réaliser notre étude de manière efficace et performante et cela en construisant notre modèle de façon graphique et optimisée.

Le logiciel nous permet aussi d'importer de fichier de type AutoCAD DXF et DWG, FBX, STL, JPG et PNG afin de construire à partir de zéro des modèles FDS, ces fichiers peuvent être utilisés en tant que calque des images importer en arrière-plan qui pourront être des références de base pour notre construction en 3D du modèle FDS.

Il nous fournit plusieurs fonctionnalités relatives au code de FDS, ces dernières nous donne la possibilité d'insérer nos données d'étude (dimensions de la structure, les réactions de combustion, les débits, et autre paramètres), et de les traduire en codes FDS afin de les simuler par la suite sur Smokeview.

Pyrosim peut aussi transmettre ses résultats pour servir dans des modèles Pathfinder, le logiciel de simulation et d'évacuation de personnes.

4.3 Définition de la configuration de l'étude

4.3.1 Maillage

Dans le cadre de notre étude nous nous intéressons au transport des fumées produites lors d'un incendie de différente origine selon les scénarios retenus par la précédente étude. Pour réaliser l'étude de cette propagation de fumée, il est important de choisir un maillage adéquat pour avoir des résultats le plus précis que possible, afin de réaliser cela la simulation numérique sur FDS nécessite des heures voir même des jours pour exécuter le programme de calcul pour un maillage raffiné sur des ordinateurs personnels.

Le facteur qui influe sur le temps de calcul d'une manière plus significative est la taille de la maille, de ce fait on a choisi de simuler la propagation de fumée sur les trois compartiments du parking séparément, car on a constaté dans la simulation du parking par un maillage grossier que les trois compartiments communiquent peu de fumée entre eux et cela est dû à des parois coupe-feu qui les séparent. Ceci dit la fumée peut atteindre les autres compartiments en prolongent la durée de la simulation.

La taille des mailles est spécifiée dans chaque direction du système de coordonnées (nombre de maille dans les directions x, y, z). Dans le cas de notre parking souterrain on a choisi un maillage cubique de 0,5 mètre dans les trois directions, pour chaque compartiment nous disposeront un nombre de maillages tel qu'on prend en considération la géométrie de chaque compartiment les résultats seront disposés dans le tableau suivant :

Tableau 4.1 Maillage des compartiments

| Compartiment | Taille des cellules selon chaque axe | L'axe des (x) | L'axe des (y) | L'axe des (z) | La somme totale cellules sur toutes les surfaces des plans |
|---------------------------|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|--|
| Compartiment 1 | 0,5*0,5*0,5 | 258 | 118 | 40 | 1 217 760 |
| Compartiment 2 | 0,5*0,5*0,5 | 258 | 124 | 22 | 703 824 |
| Compartiment 3 | 0,5*0,5*0,5 | 256 | 105 | 40 | 1 075 200 |
| Nombre totale du maillage | | | | | 2 996 784 |

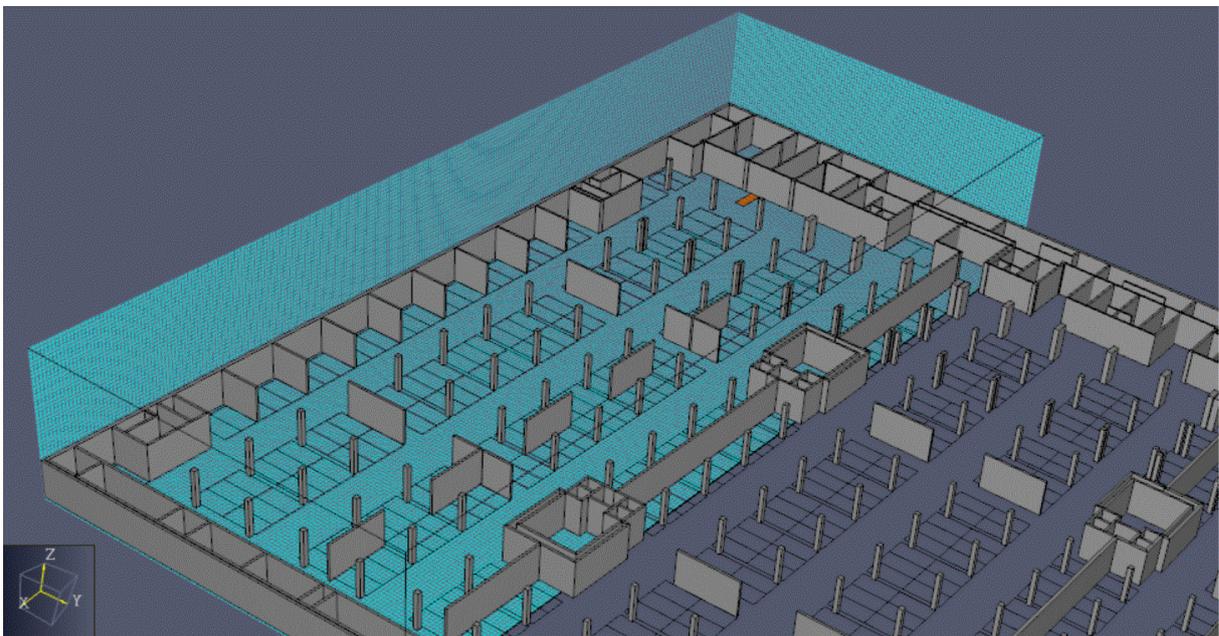


Figure 4.2 Maillage du compartiment 3

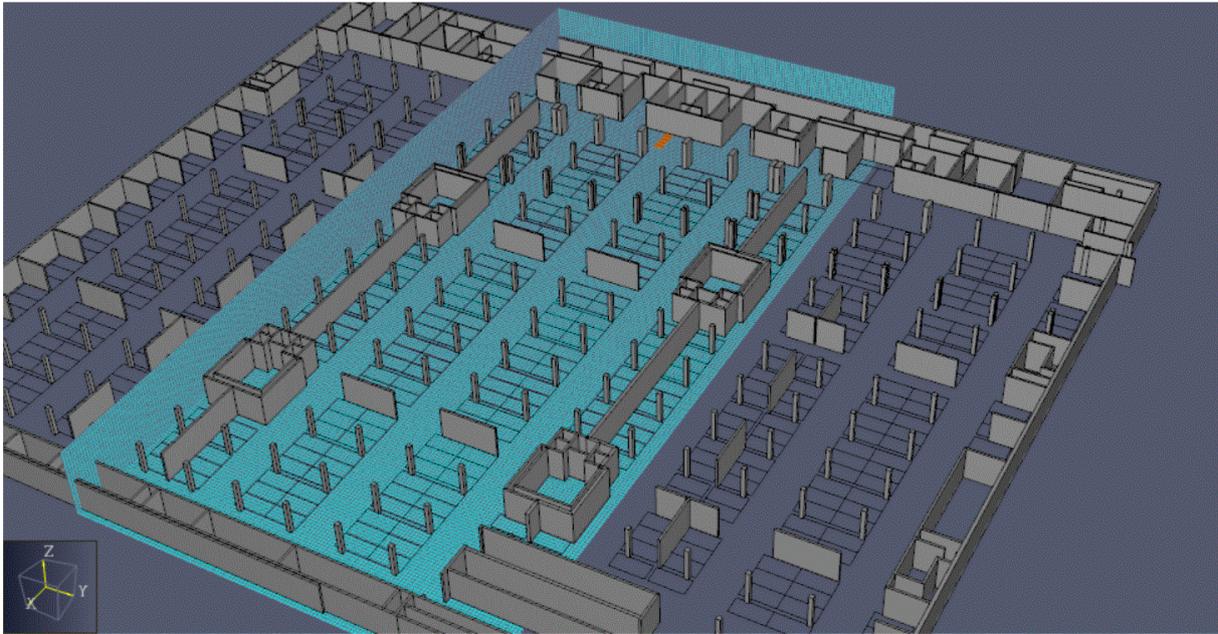


Figure 4.3 Maillage du compartiment

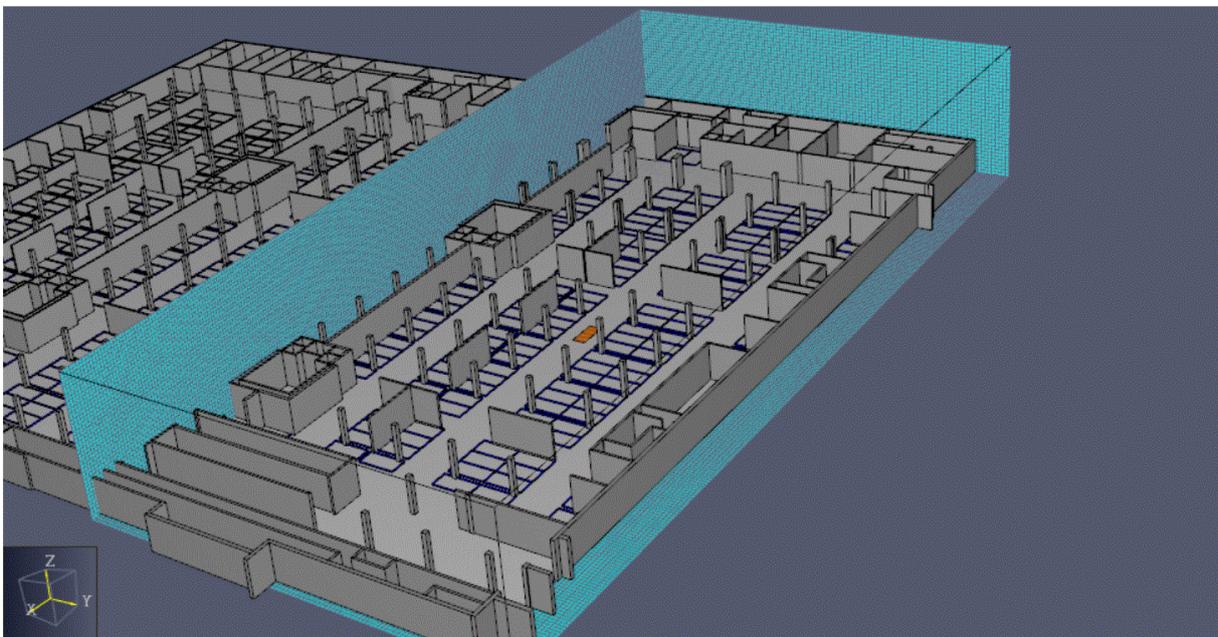


Figure 4.4 Maillage du compartiment 1

Pour ce qui est des conditions aux limites, on impose une condition de type OPEN sur toutes les faces du domaine. Comme le nombre de maille est assez grande notre simulation prendra un temps de calcul équivalent à 72h pour chaque simulation d'un temps de 300s

4.3.2 Modelé numérique du parking

a) Les principales commandes utilisées :

L'entrée de notre fichier FDS est réaliser sous-forme de code comme on la définit dans la première étape Pré-processeur, dans ce fichier on va introduire des informations suivantes accompagner de leurs code FDS :

- Le domaine de calcul et les conditions aux limites définissent respectivement par la commande :
 - ⇒ MESH ID = 'nom du maillage'
 - ⇒ VENT ID = 'ouverture du maillage (Mesh vent) : nom du maillage'

- On peut définir plusieurs surfaces sur FDS qui peuvent être assignée à (un événement, un feu, une gaine HVAC, une ouverture OPEN, ...etc) de ce fait on utilise la commande :
 - ⇒ SURF ID = 'la surface voulu' suivi par ces coordonnées (X, Y, Z).
- Un feu nécessite une réaction de ce fait on doit l'ajouter sur la commande FDS :
 - ⇒ REAC ID = 'Nom du combustible' suivit par ces caractéristiques chimiques
- Les murs et les structure qui constituant notre parking sont définit sur FDS comme étant des obstructions leurs commandes est :
 - ⇒ OBST ID = 'nom de l'obstruction' suivi par ces coordonnées (X, Y, Z).
- Les ouvertures ou portes seront introduites par la commande :
 - ⇒ HOLE ID = 'nom de l'ouverture' suivi par ces coordonnées
- Les commande des évenéte du conduit de désenfumage sont respectivement :
 - ⇒ VENT ID = ' nom de l'événement', coordonnées de son emplacement (X, Y, Z).
 - ⇒ Les conduits de désenfumage seront définis par des nœuds et des conduits précédés par la commande HVAC ID = 'nœud / conduits'

Remarque :

La gaine sont définit comme étant des obstructions introduit sur FDS par la commande OBST ID = 'DUCT' leur forme (épaisseur/ hauteur) n'est pas retenue.

La gaine est construite par des commandes des conduites HVAC qui seront liée par des nœuds, ces conduites seront mises en place sur le programme selon le dimensionnement et les débits calculer dans le chapitre 3.

b) Définition de la configuration retenue pour l'étude

Le désenfumage du parking en cas d'incendie consiste à assurer la ventilation la plus adéquate pour assurer l'évacuation des fumées chaudes et toxiques. Pour cela, nous allons se baser sur le dimensionnement du plan Autocad pour notre modélisation.

La structure s'agit d'un parking à deux niveaux en sous-sol au-dessous d'une esplanade de commerce, notre étude se portera sur le 2eme niveau du parking qui possède plusieurs locaux techniques susceptible de déclencher un incendie.

Le parking c'étende sur une longueur de d'environ 150 mètre et d'une largeur de 135 mètres, il s'élève sur une hauteur de 10 mètres le parking possède deux ouvertures qui permet l'accès des véhicules et 10 escalier cloisonnée ne permettant pas de communiquer la fumée et qui assurent une sortie pour les personnes, ces escaliers ne seront pas pris en considération dans notre étude car ils n'ont pas d'influence.

Nous avons construit le parking en partent de zéro chaque mure a été déposée selon les donnée tirée du plan Autocad comme le montre la figure suivante :

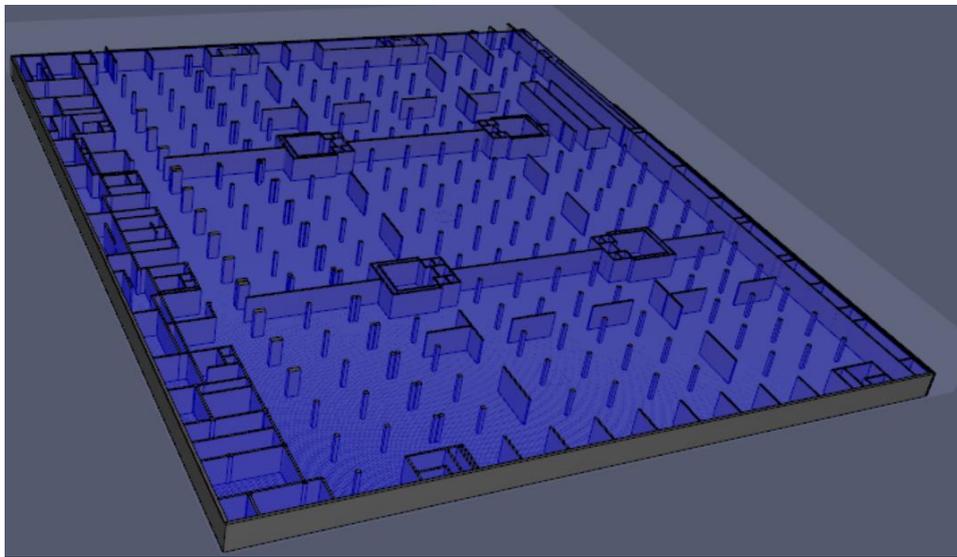


Figure 4.5 Modélisation murs du parking

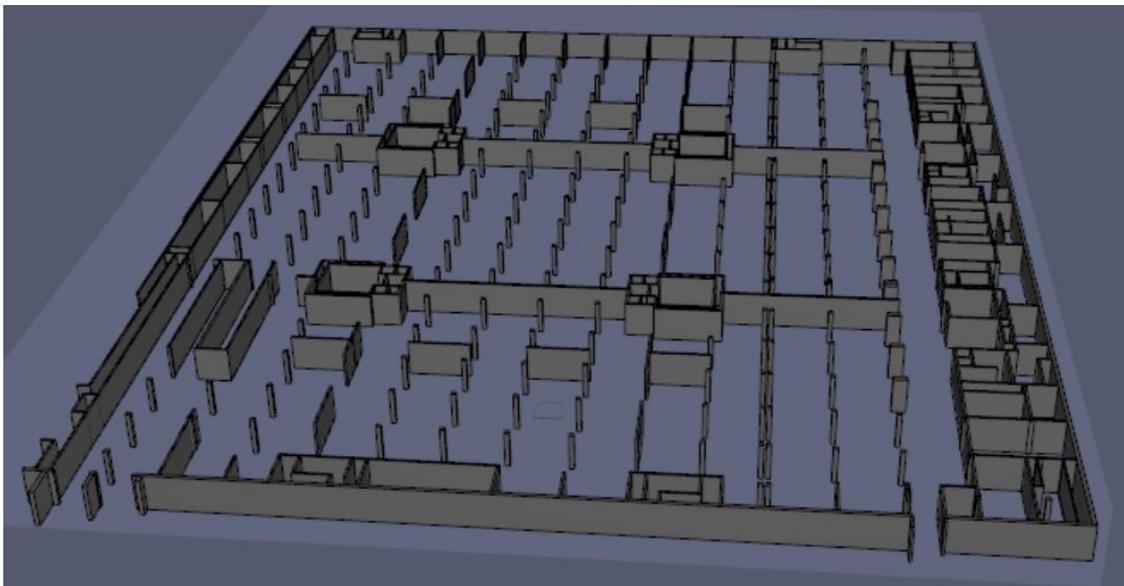


Figure 4.6 Vu de la modélisation sur un autre angle sans plafond

Etant donné que la surface du parking est très grande ce qui implique un temps de calcul énorme équivalent presque à une semaine, nous simulerons le modèle en trois parties qui sont les compartiments déjà étudié auparavant dans le chapitre 3 du dimensionnement.

Tableau 4. 2 Dimensions des trois compartiments

| | Longueur | Largeur | Hauteur | Nombre de voiture |
|----------------|-----------|------------|----------|-------------------|
| Compartiment 1 | 50 mètres | 135 mètres | 5 mètres | 150 |
| Compartiment 2 | 50 mètres | 135 mètres | 5 mètres | 176 |
| Compartiment 3 | 50 mètres | 135 mètres | 5 mètres | 185 |

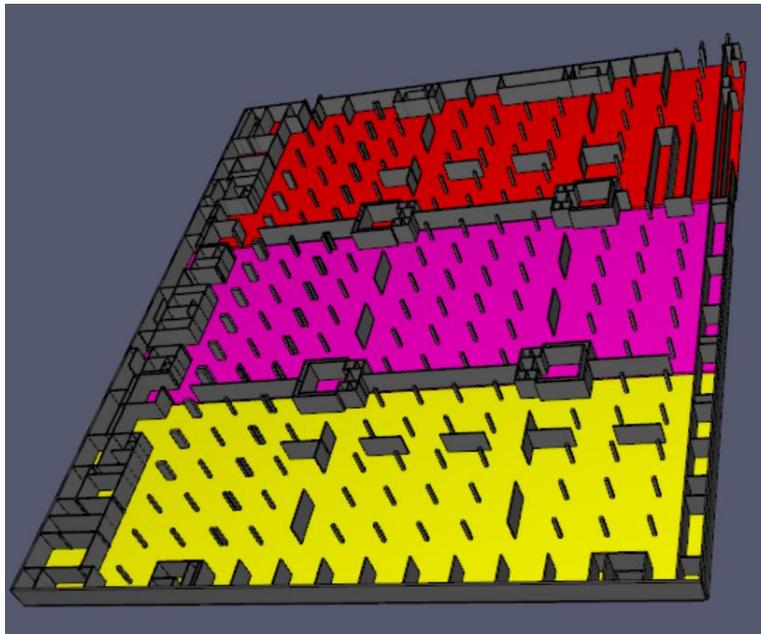


Figure 4.7 Modelé 3D des trois compartiments

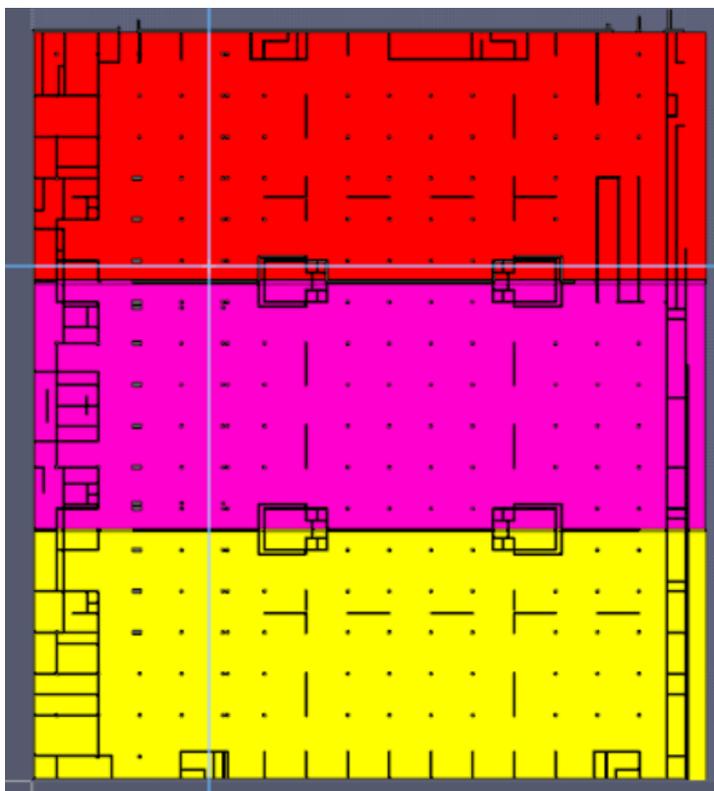


Figure 4.8 Vu en 2D de la modélisation

c) Réaction de combustion

Avant de définir la surface du feu il faut d'abord définir de quelle combustion il s'agit pour notre étude nous allons prendre pour les trois scénarios un combustible de type fuel telle que le gasoil pour cela il faut introduire les caractéristique, la composition chimique du produit, ces derniers sont donne dans la fiche de données de sécurité du gasoil, dans les figures qui suit nous allons définir ces paramètres sur pyrosim :

Modifier les réactions

Fuel

Description:

Type de réaction : Chimie simple

Compositon

Atomes de carbone:

Atomes d'hydrogène:

Atomes d'oxygène:

Atomes d'azote:

Figure 4.9 Propriété chimique du combustible

Compositon Auto-extinction du feu Sous-produits Avancé

Activer l'auto-extinction du feu

Température de flamme critique :

Température d'auto-inflammation :

Figure 4.10 Caractéristique de Température du combustible

Énergie libérée:

Spécifier l'émission par unité de masse d'oxygène:

Spécifier la chaleur de combustion:

Fraction de rayonnement :

Figure 4.11 Enthalpie de combustion

d) Taux de dégagement de chaleur (HRR)

Telle que l'on a définie dans le premier chapitre le taux de dégagement de chaleur dépend essentiellement :

- Des caractéristiques du combustible du rapport surface masse, des géométries
- De la quantité de combustible
- Et de paramètres liés aux dimensionnements du parking

Dans notre étude nous introduisons le taux de dégagement de la réaction de combustion par unité de surface, car FDS définit un feu par une surface de type bruleur. Les trois compartiments auront la même valeur $HRRPUA = 6000 \text{ KW/m}^2$ sur une surface de 7m^2 c'est une valeur approximative pour simuler une combustion de Gasoil, la valeur exacte de $HRRPUA$ dépend du taux de dégagement de chaleur HRR, celui-ci doit être déterminé par une étude de combustion du gasoil qui dépend de plusieurs paramètres, la figure suivante représente la définition de HRR dans pyrosim :

| Paramètre | Valeur |
|---|----------------------------|
| Puissance par unité de surface (HRRPUA) | 6000,0 kW/m ² |
| Taux de la perte de masse | 0,0 kg/(m ² ·s) |
| Temps de montée en régime | Par défaut (1,0 s) |
| Coefficient d'extinction | 0,0 m ² /(kg·s) |

Figure 4.12 Définition HRR sur Pyrosim

4.4.3 Mise en place des gaines

La mise en place des gaines doit être réalisée selon plusieurs conditions imposées par le logiciel. Tout d'abord, il faut savoir que l'extraction et l'amenée d'air ne se font pas par un simple VENT ID, c'est-à-dire l'extraction ou l'amenée d'air n'est pas attachée à un mur comme ils se font dans les bâtiments et d'autres structures.

Comme on est dans un espace vaste et souterrain du parking, les événements vont être attachés sur une gaine, donc ils seront définis sur une surface spécifique nommée HVAC, d'où la commande suivante `SURF_ID = 'HVAC'`.

HVAC est l'abréviation de Heating, Ventilation and Air-conditioning, équivalent en français Chauffage, Ventilation et Climatisation (CVC), c'est l'ensemble des domaines techniques regroupant les corps qui traitent des systèmes aérodynamiques.

Un système HVAC se compose des conduits et des nœuds reliant l'ensemble des parties qui constituent la gaine. Nous allons prendre un exemple d'une gaine pour définir comment la mise en place a été faite. Cet exemple concernera les gaines d'extraction du deuxième compartiment.

Comme on a mentionné précédâmes une gaine d'extraction possède 5 éventes ce qui veut dire 5 tronçons de dimensions différent la modélisation sur le logiciel est réaliser comme suite :

- ⇒ Sur chaque évent est assignée un nœud afin de permettre la liaison entre l'évente et la conduite
- ⇒ Sur chaque changement de direction de conduit on définit un nœud de joint
- ⇒ Entre chaque tronçon on met aussi un nœud

Les figures ci-dessous nous montrent la modélisation des trois gaines d'extraction du compartiment 2, les nœuds sont représentés par les points sur les gaines

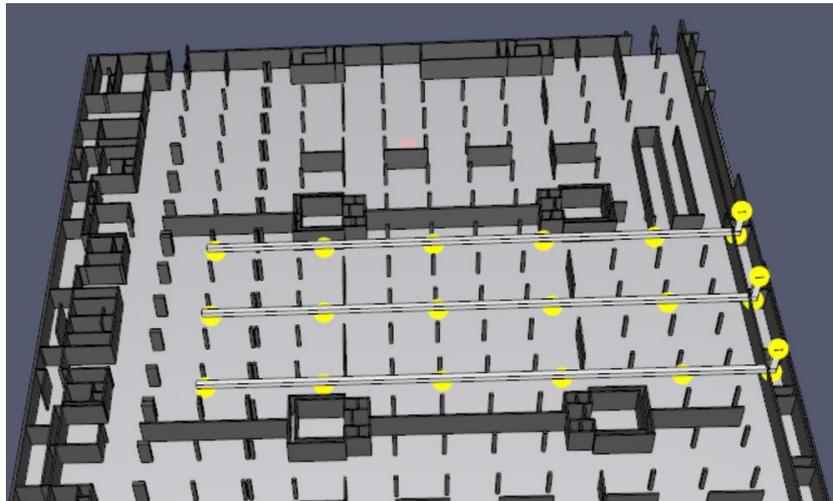


Figure 4.13 représentation des nœuds sur les gaines d'extraction

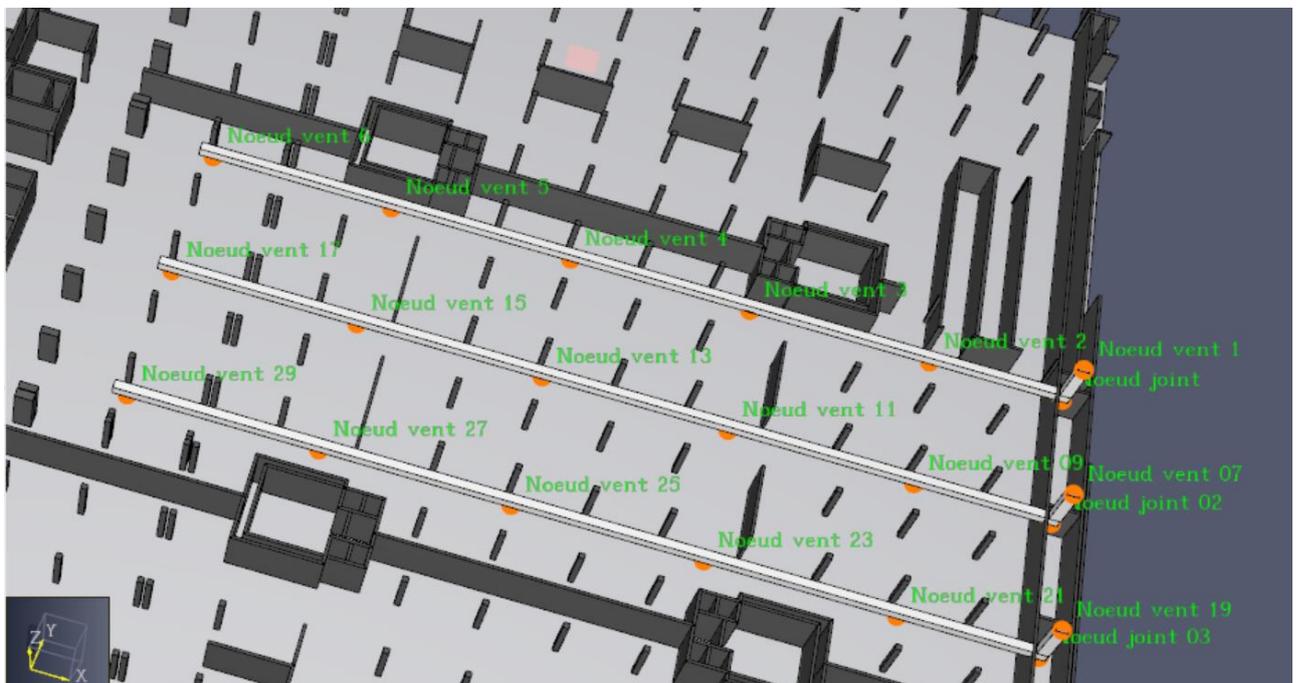


Figure 4.14 Nomenclature des nœuds

Remarque :

Les nœuds doivent être assignés soit à une extrémité vent soit définit en tant que nœud interne c'est-à-dire l'intérieur de la gaine exemple ci-dessous :

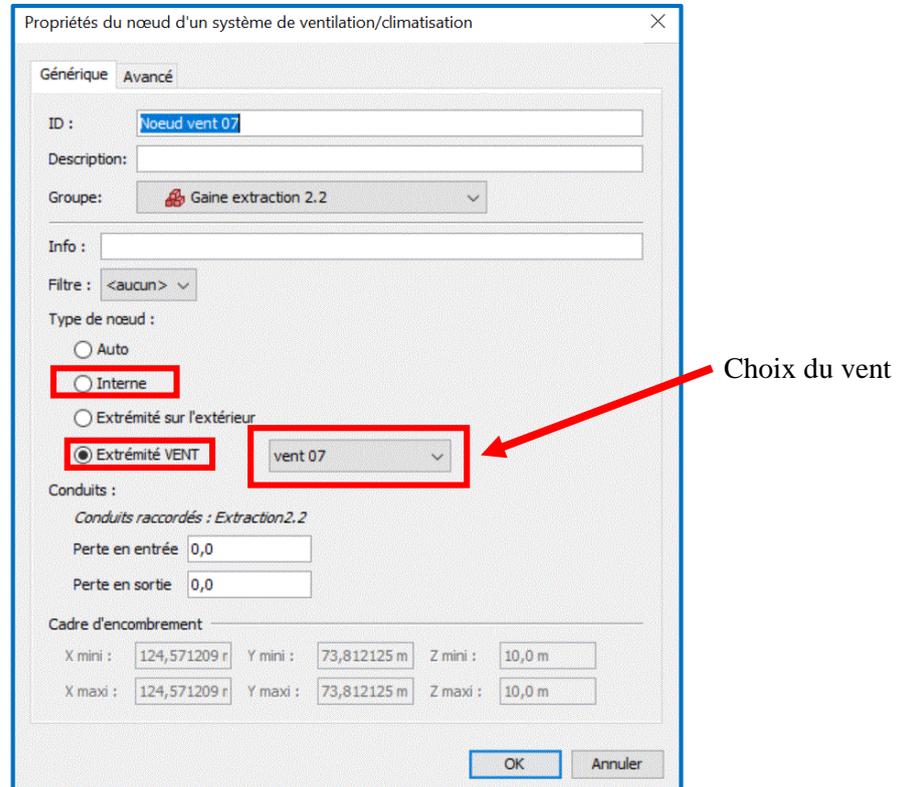


Figure 4.15 critère de mise en place des nœuds

La figure ci-dessous nous montre la modélisation des conduits en se basant sur les dimensionnements, en enlevant l'obstruction DUCT nous observant les conduits :

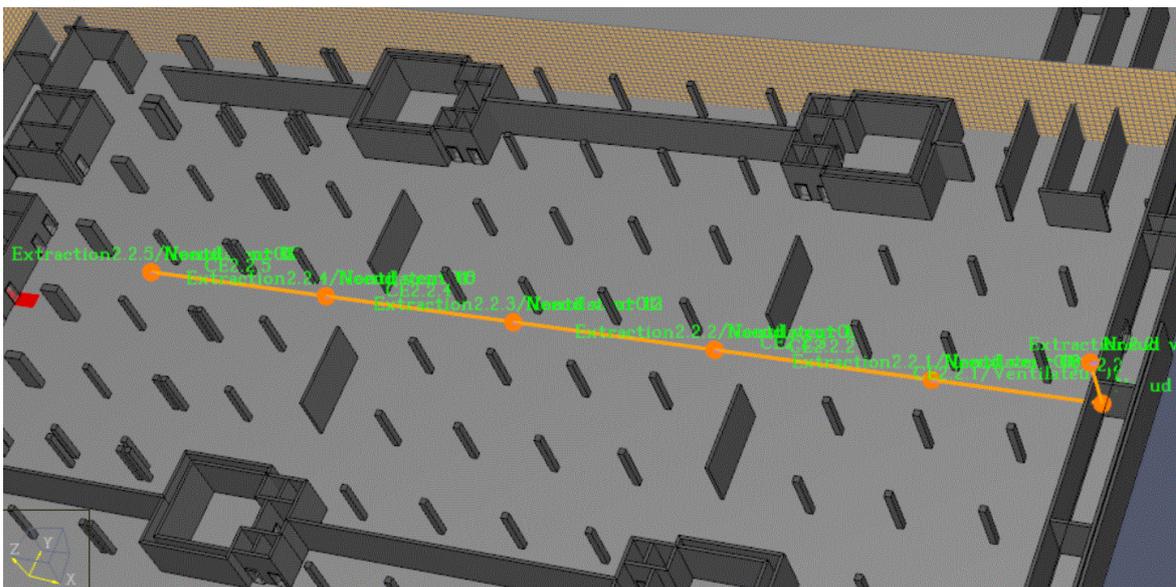
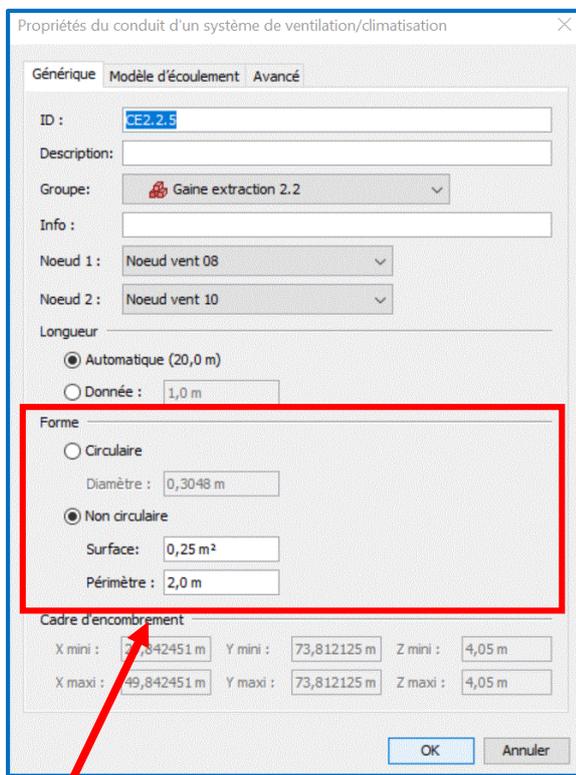
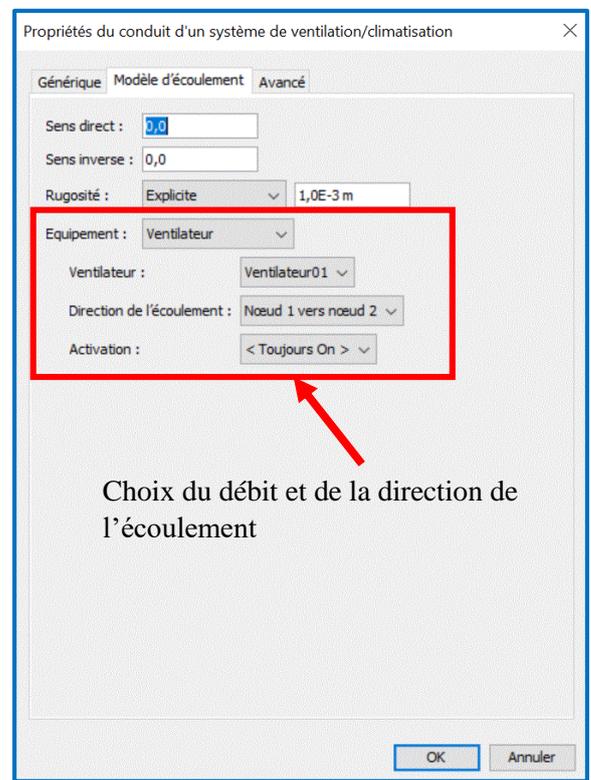


Figure 4.16 Exemple conduit d'extraction 2.2 du compartiment 2



Choix de la forme de la gaine et de ces dimensionnements



Choix du débit et de la direction de l'écoulement

Figure 4.17 Critères de mise en place des conduits

Les figures suivantes représentent notre modélisation en 2D et 3D des gaines d'extraction de fumée de chaque compartiment du parking :



Figure 4.18 Compartiment 1 gaines d'extraction 2D

La figure suivante est une vue en 3 dimensions du premier compartiment sur la position de la croix jaune de la figure 4.18 :

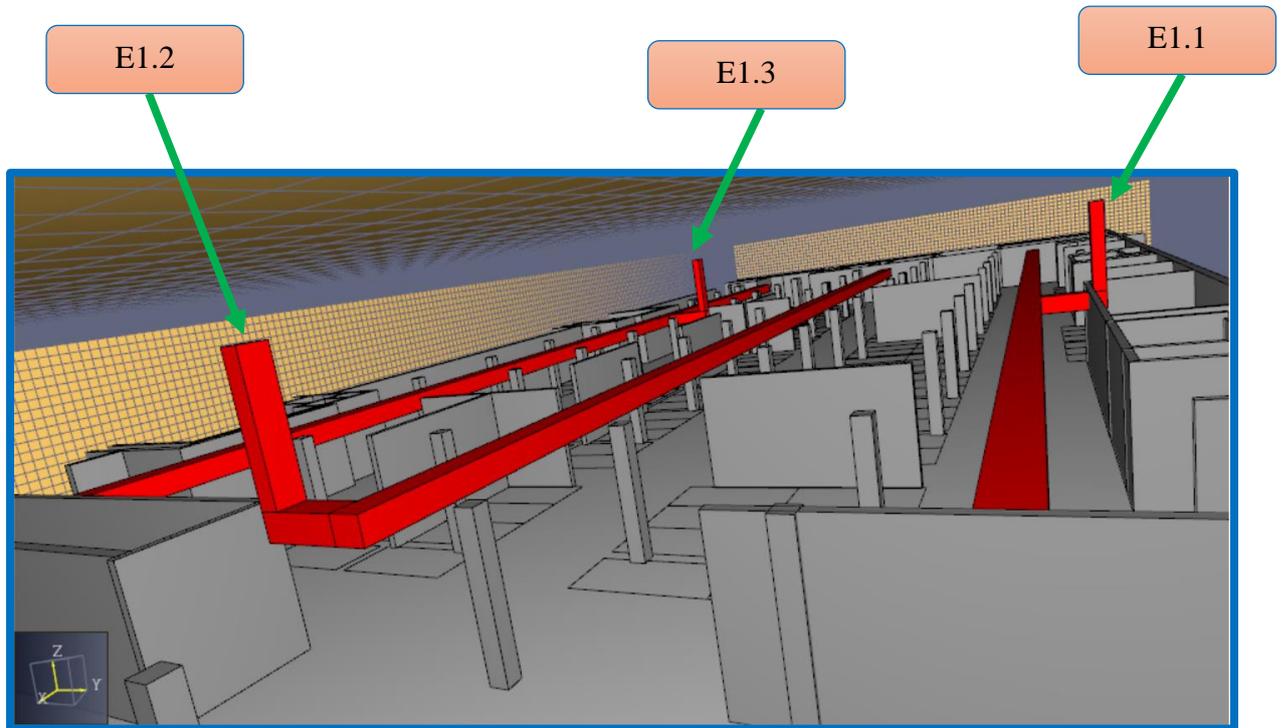


Figure 4.19 Compartiment 1 gaines d'extraction 3D

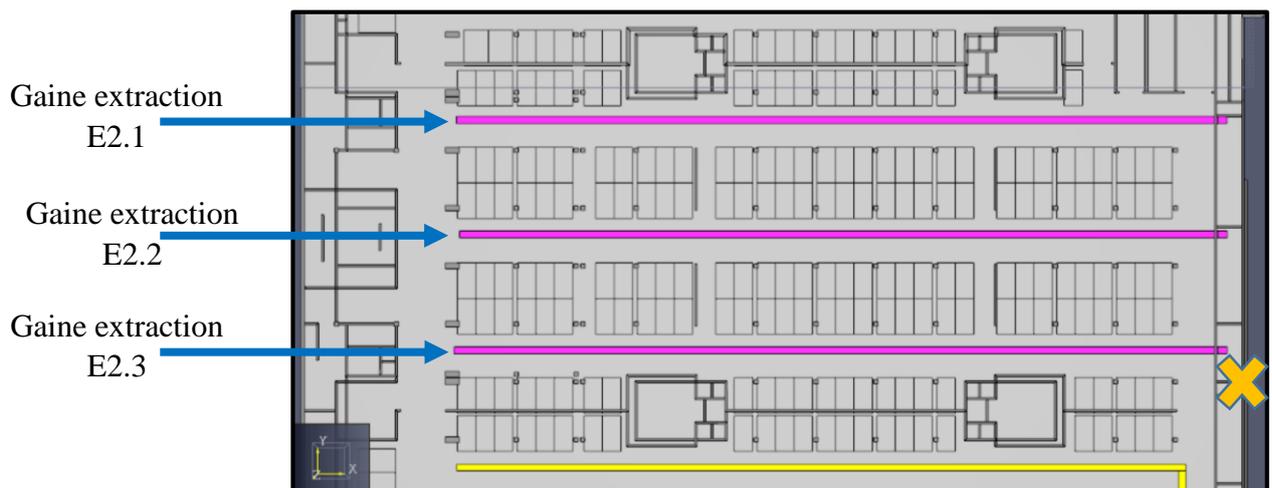


Figure 4.20 Compartiment 2 gaines d'extraction 2D

La figure suivante est une vue en 3 dimensions du compartiment 2 sur la position qui est défini dans la figure 4.20 :

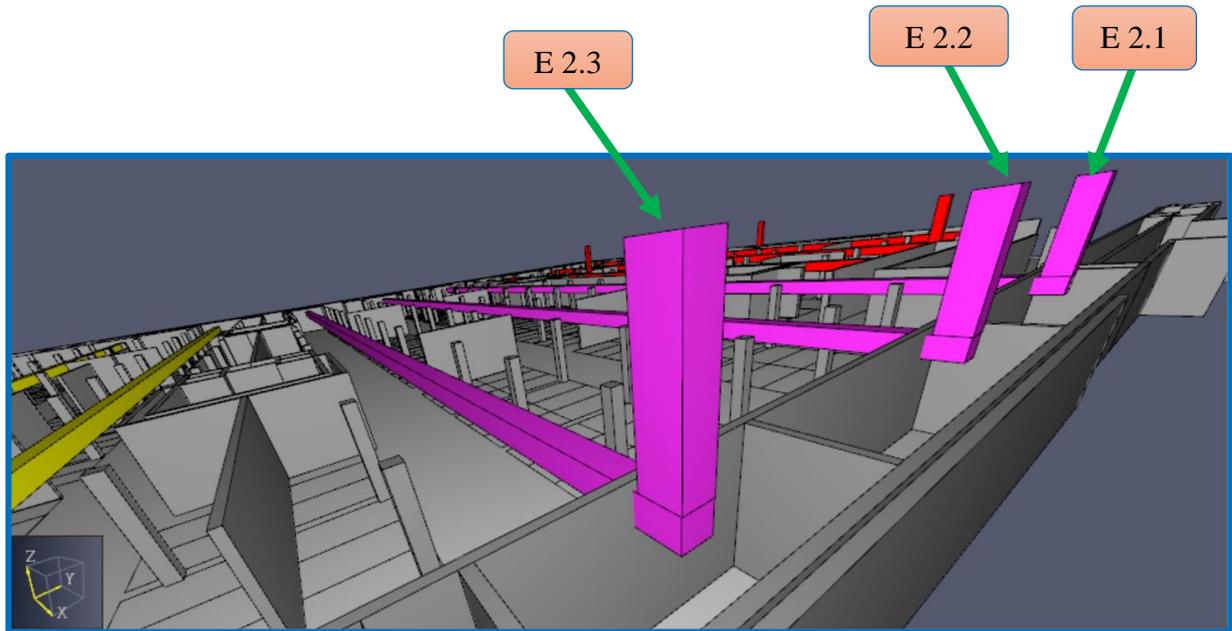


Figure 4.21 Compartiment 2 gaines d'extraction 3D



Figure 4.22 Compartiment 3 gaines d'extraction 2D

La figure suivante est une vue en 3 dimensions du compartiment 2 sur la position qui est défini dans la figure 4.22 :

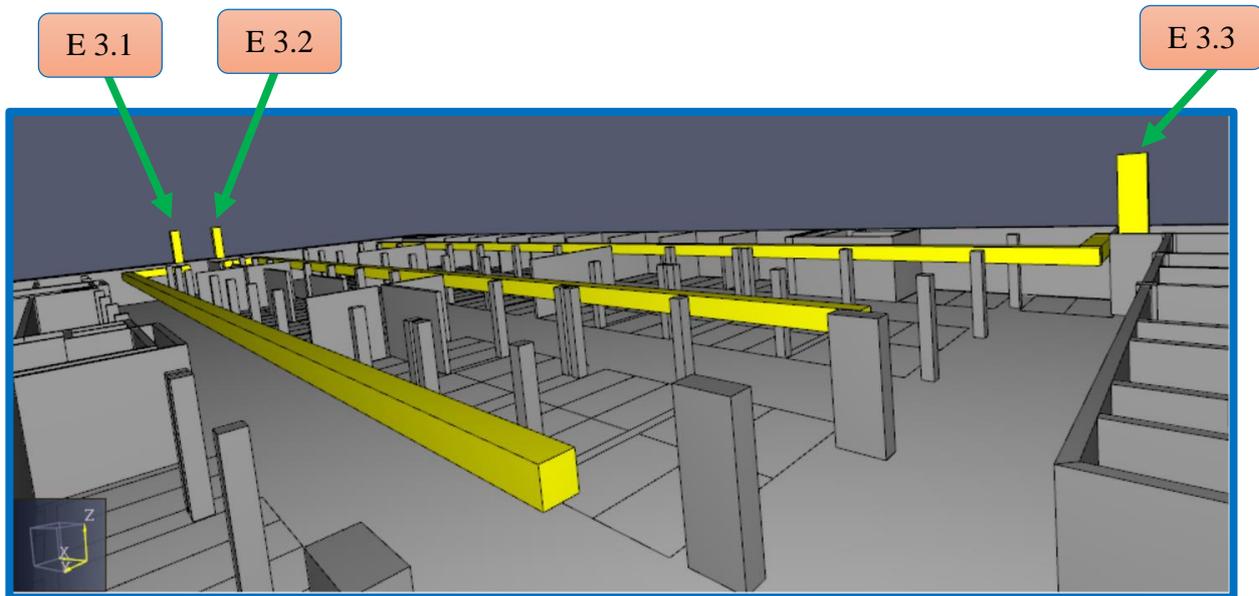


Figure 4.23 Compartiment 3 gaines d'extraction 3D

Remarque : Les gaines d'extraction remonte le long du bâtiment jusqu'à l'extérieur ou se trouve les caissons d'extraction ou les tourelles qui seront positionner d'une façon à ce que les caissons d'amenée ne s'interfère pas avec l'extraction

Afin de mieux voir l'extraction nous allons isoler une seule gaine d'extraction est observer le flux de mouvement des fumées et comment l'extraction se fait, les figures ci-dessous représente ce mouvement sous forme de petite flèche de couleur différente chaque plage de couleur nous indique la vitesse de propagation de la fumée :

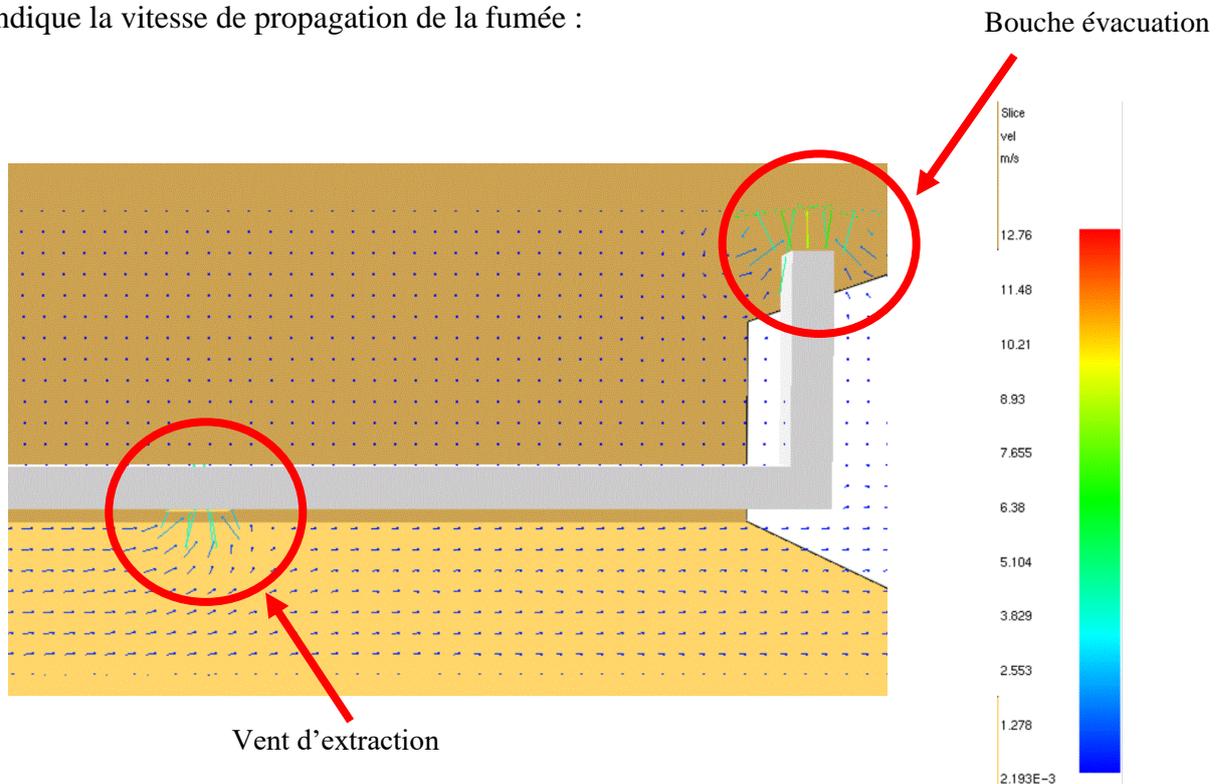


Figure 4.24 Visualisation du flux de fumée

On remarque dans la figure que le flux au niveau du vent d'extraction est de couleur entre le bleu clair et le vert ce qui nous indique que la vitesse du flux est entre 5m/s et 8m/s, afin de pouvoir visualiser ce flux nous utiliserons sur FDS un slice de vitesse du fluide qui va nous permettre de percevoir le mouvement et la vitesse auxquelles la fumée se propage.

Les figures suivantes représentent l'exemple de la gaine de la figure précédente en employant la fumée, on visualise comment la gaine fait l'extraction, on aperçoit l'évacuation sous-forme de cheminée :

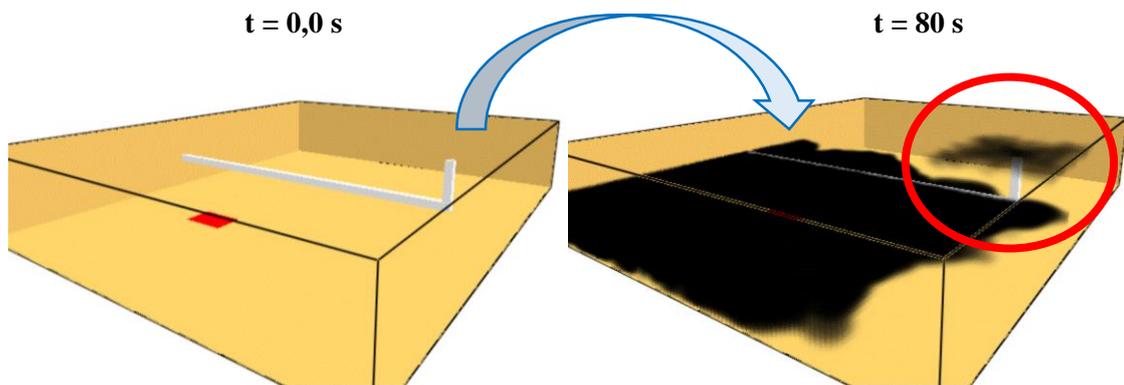


Figure 4.25 visualisation de l'évacuation de la fumée

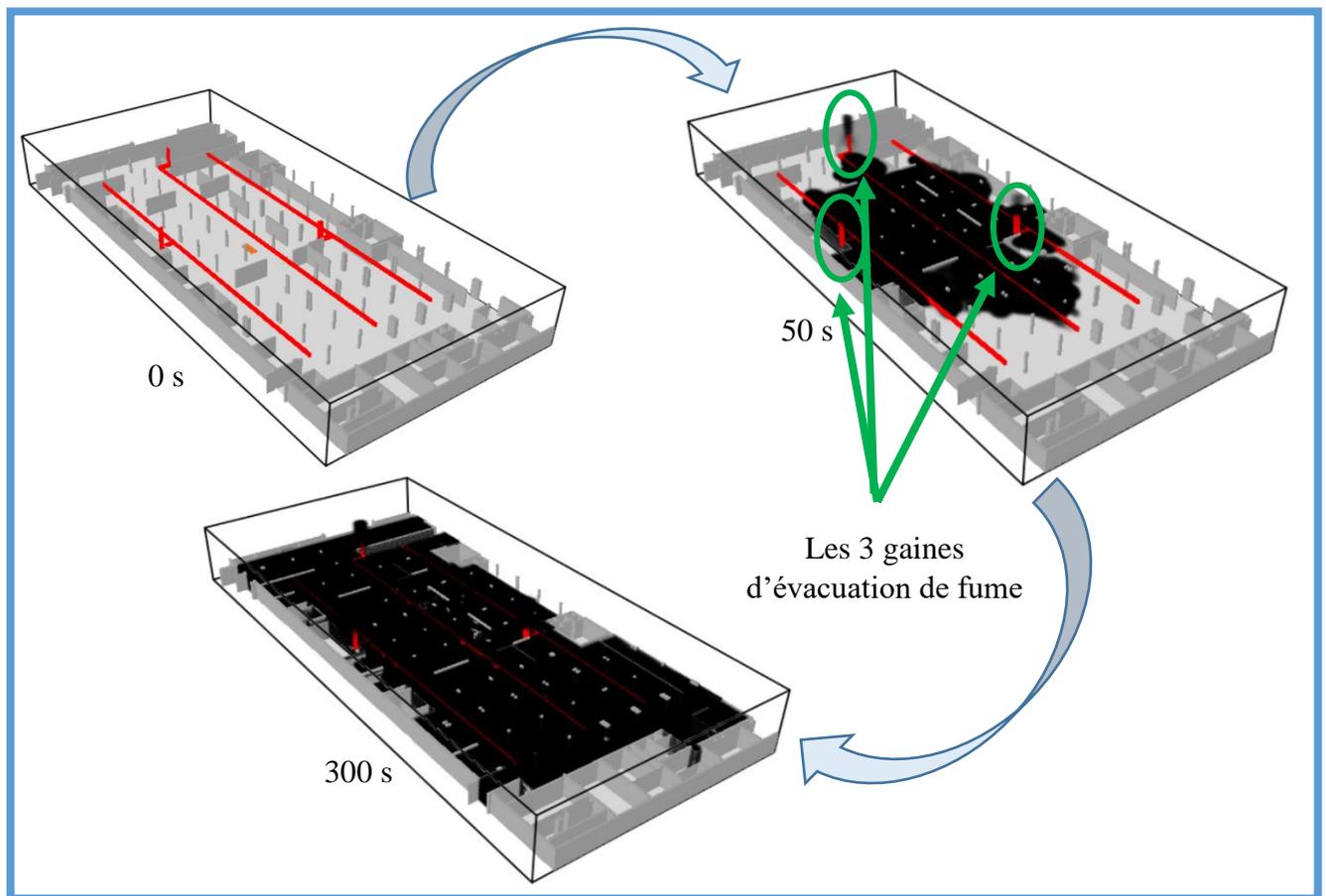


Figure 4.26 Simulation du compartiment 1

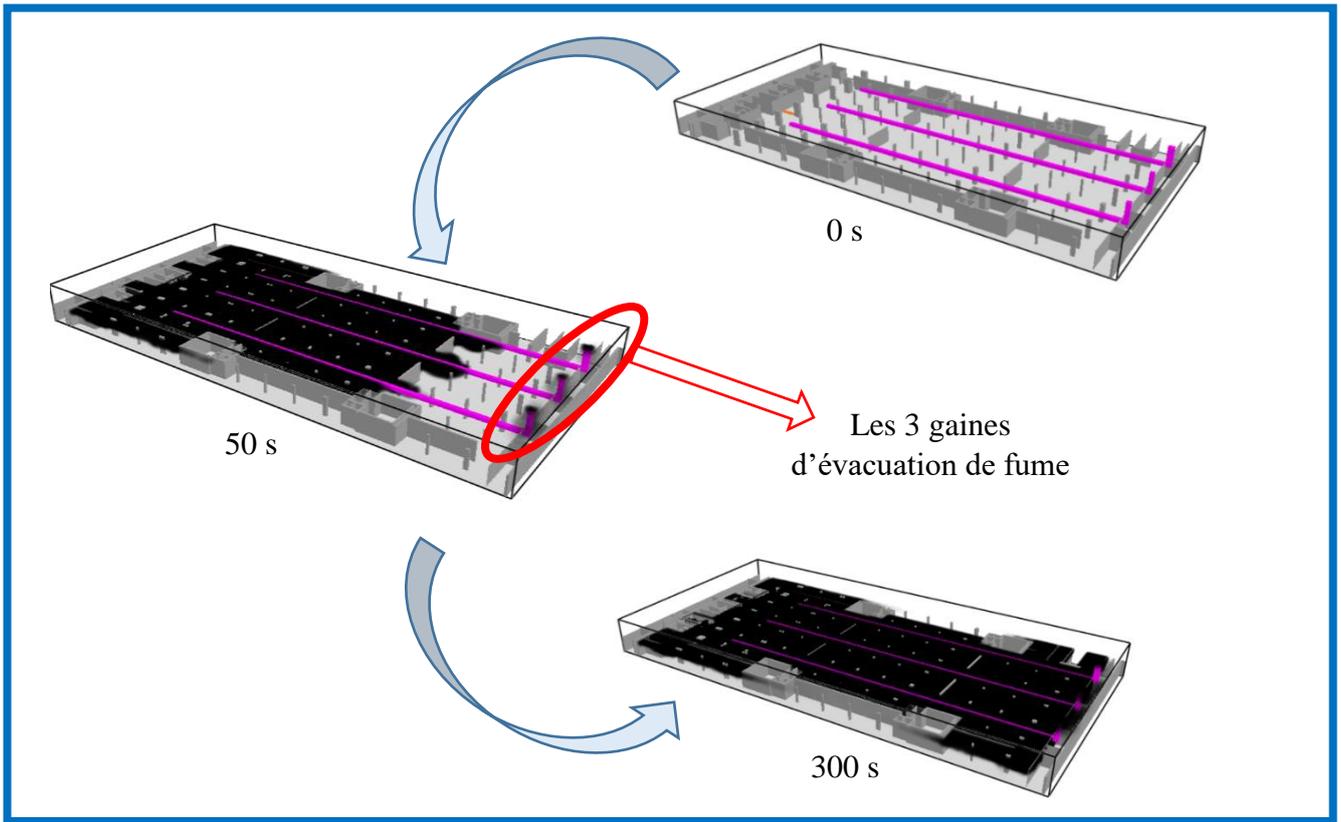


Figure 4.27 Simulation du compartiment 2

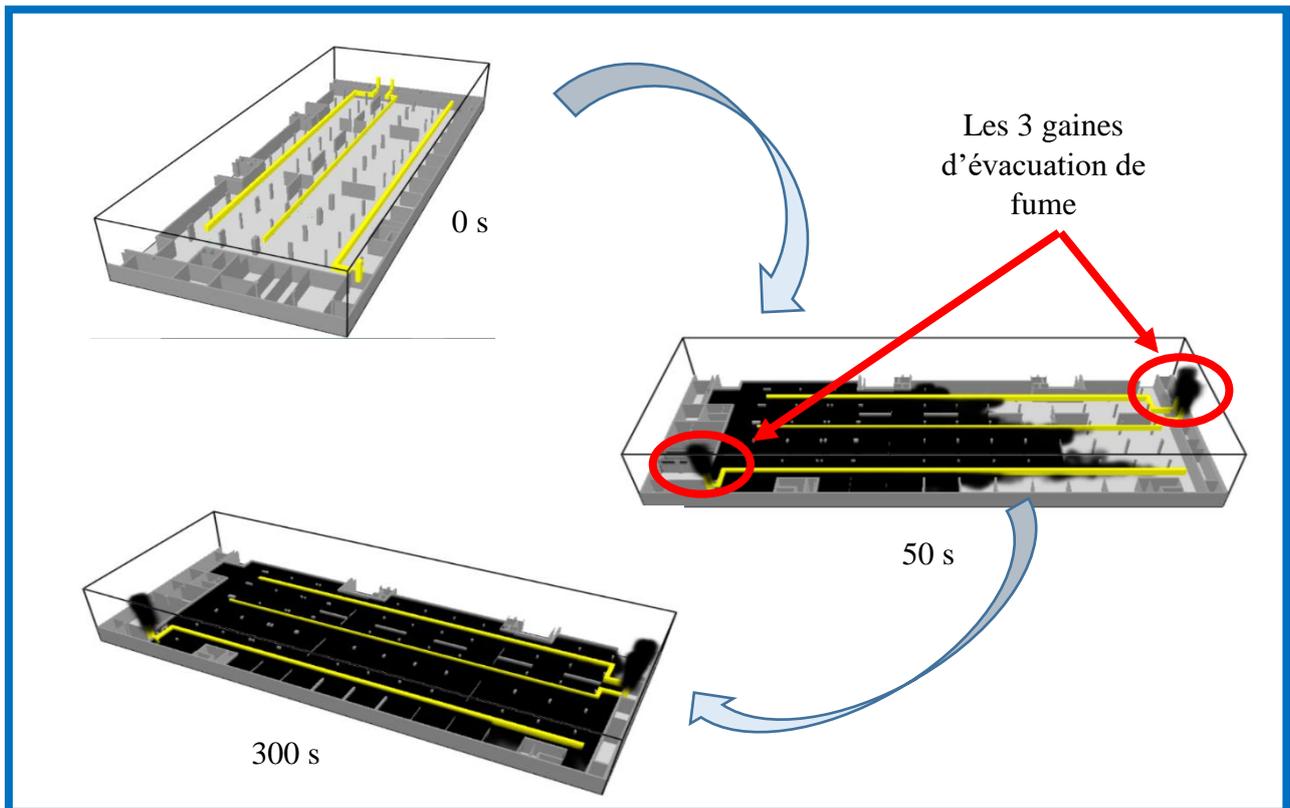


Figure 4.28 Simulation du compartiment 3

4.4 Définition des scénarios d'incendie

Trois scénarios sont pris en se basant sur l'évaluation et l'identification des risques réalisés dans le deuxième chapitre, ces scénarios concerneront les trois compartiments du parking sur chaque un d'entre eux nous positionnerons le feu sur l'endroit où l'étude de risque nous a démontré la susceptibilité du déclenchement de l'incendie ou l'origine du feu.

Les scénarios concerneront le local technique du compresseur à air, local technique groupe électrogène, et une Inflammation des installations électriques ou des véhicules, le feu sera positionné sur ces deux locaux ainsi qu'un feu sera positionné sur la voie de circulation des voitures c'est-à-dire au milieu du parking, les scénarios seront définis en détail dans ce qui suit.

4.4.1 Scénario 1

Le premier scénario concerne le compartiment 1, dans ce dernier il se trouve qu'il y a peu de locaux, il existe que seulement trois, un local électrique là où il y a un boîtier de disjoncteur électrique, un local de stockage et un local de réservoir d'eau, nous avons choisi de situer le positionnement du feu au milieu du compartiment en supposons que le feu est d'origine des câbles électrique situer au plafond ou bien d'origine d'un accident de circulation.

La figure suivante nous montre les différent information qui concerne le compartiment 1 :

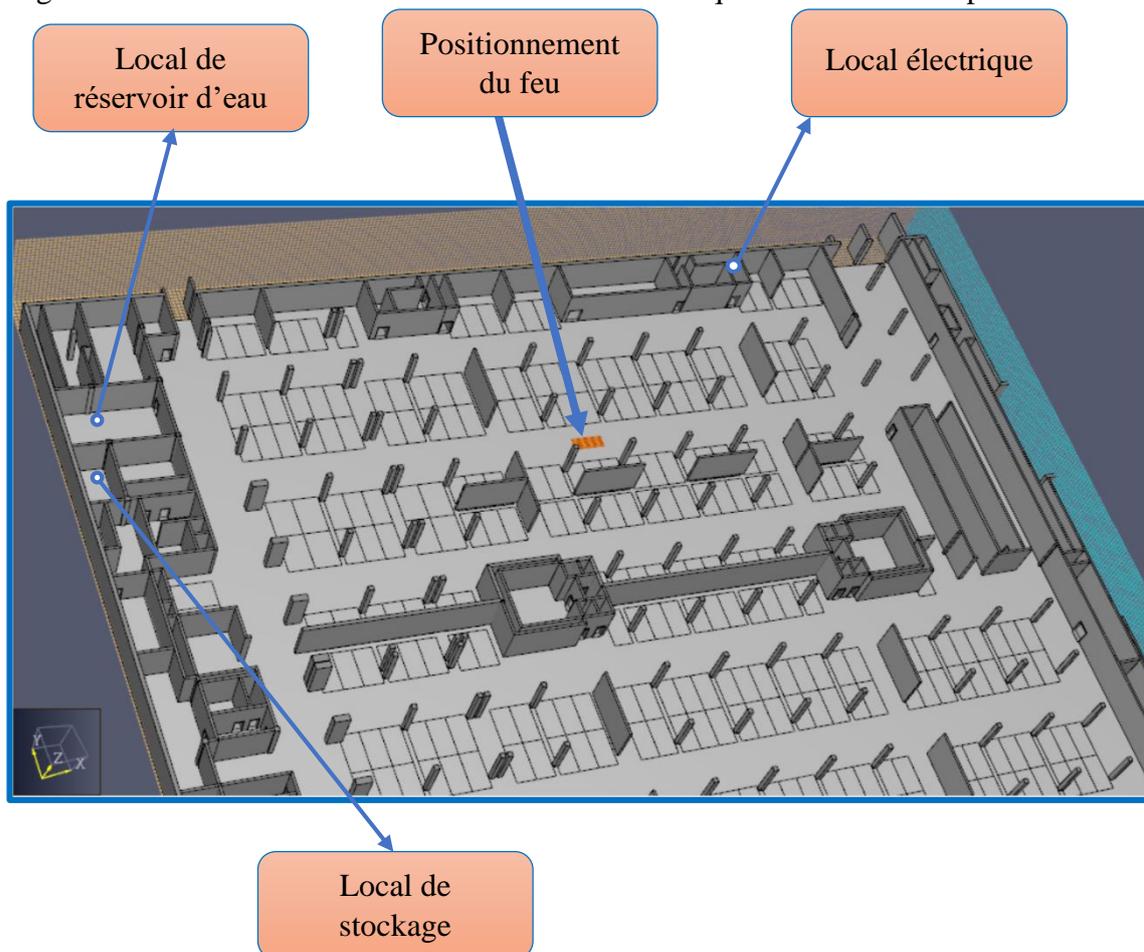


Figure 4.29 Composition du compartiment 1

Pour la modélisation du schéma suivant du scenario 1 nous avons utilisé le logiciel Bowtie XP

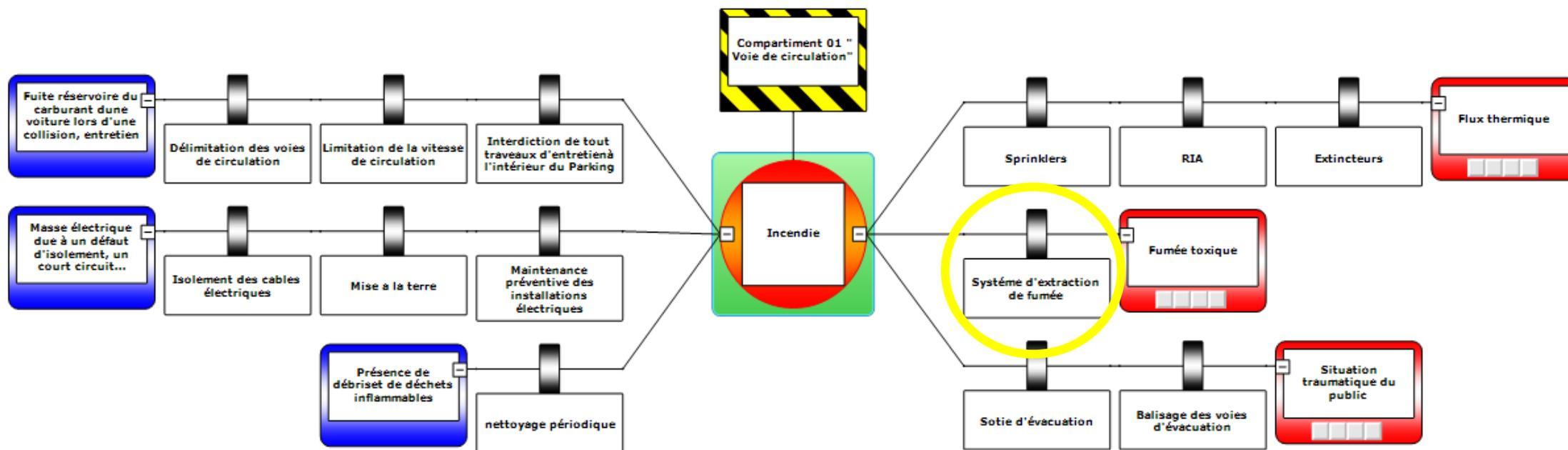


Figure 4.30 : schéma du Scenario 1

4.4.2 Scenario 2

Au niveau du compartiment 2 il existe plusieurs locaux (électrique, stockage, ventilation, etc) dont un local qui contient un compresseur à air qui est utilisé pour la climatisation du parking, dans ce scénario nous considérons que l'origine du feu est une défaillance de ce compresseur à air. La figure suivante nous montre les différentes informations qui concernent le compartiment 2 :

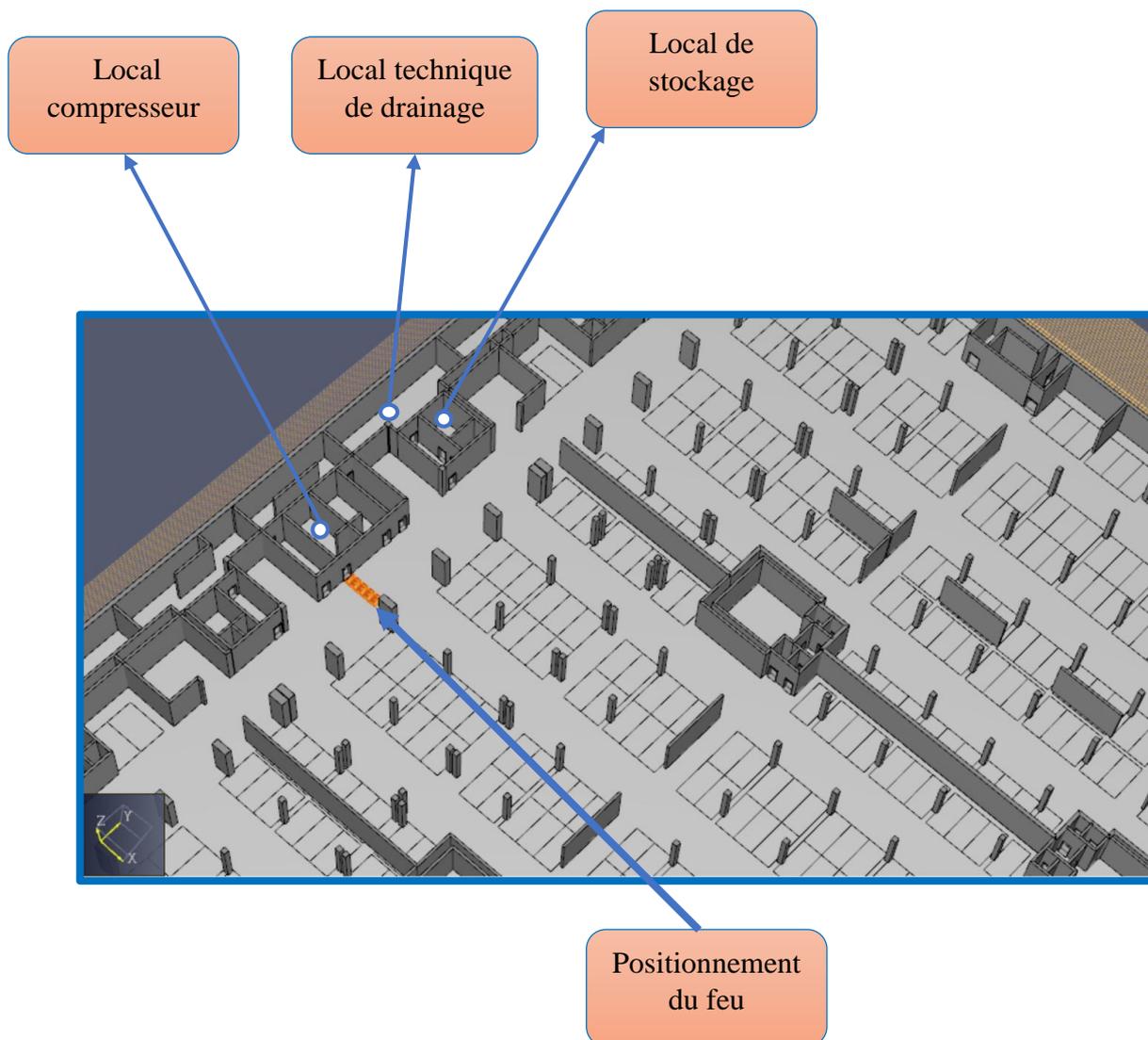


Figure 4.31 Composition du compartiment 2

Pour la modélisation du schéma suivant du scenario 2 nous avons utilisé le logiciel Bowtie XP

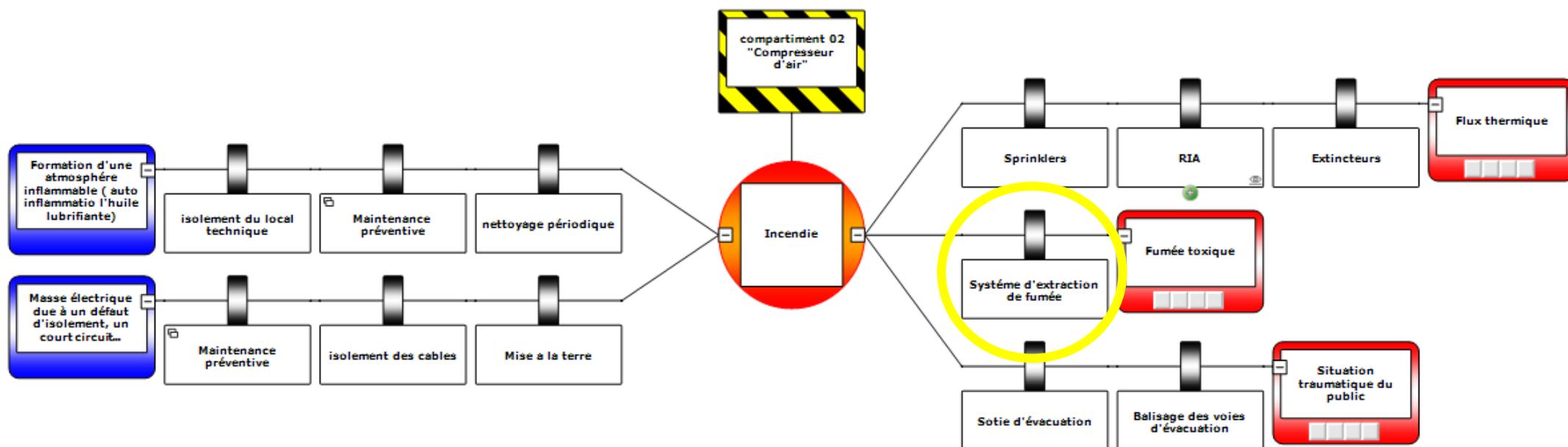


Figure 4.32 schéma du Scenario 2

4.5.3 Scenario 3

Le compartiment 3 contient le local principal électrique qui regroupe tous les câbles du parking dans un groupe électrogène, il y a aussi dans ce compartiment des locaux de stockage et un locale de ventilation, dans le scenario 3 nous supposons que l'incendie est déclencher au niveau du local ou se trouve le groupe électrogène, les figures suivante nous montre les différent information qui concerne le compartiment 3 :

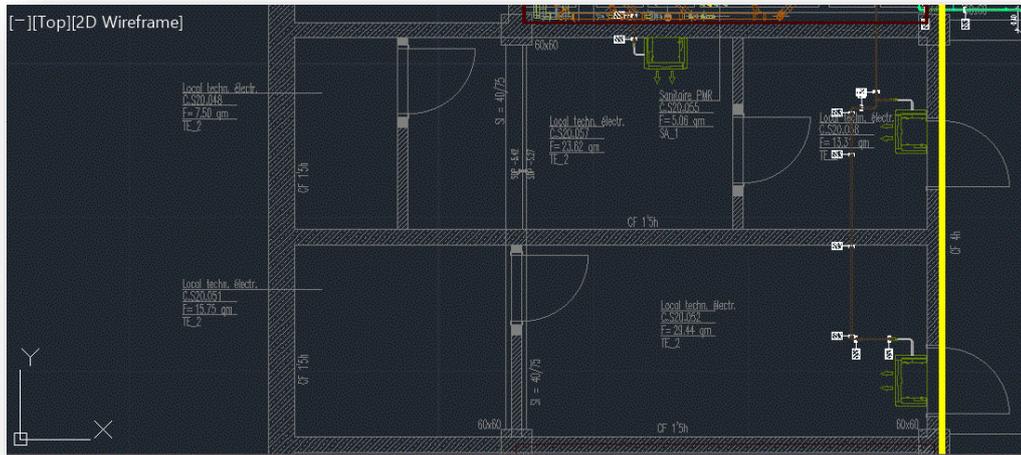


Figure 4.33 local électrique du groupe électrogène

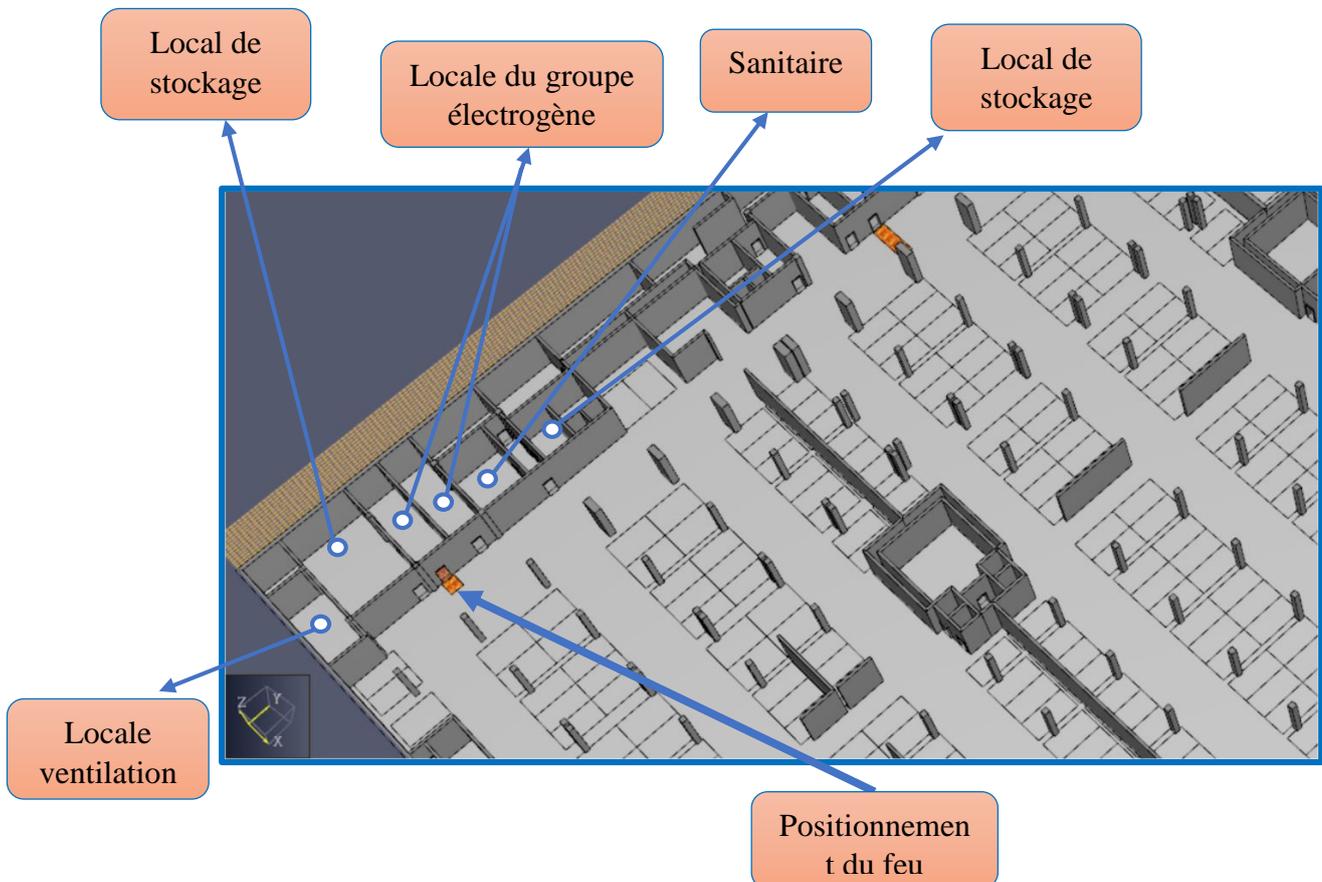


Figure 4.34 Composition du compartiment 3

Pour la modélisation du schéma suivant du scenario 3 nous avons utilisé le logiciel Bowtie XP

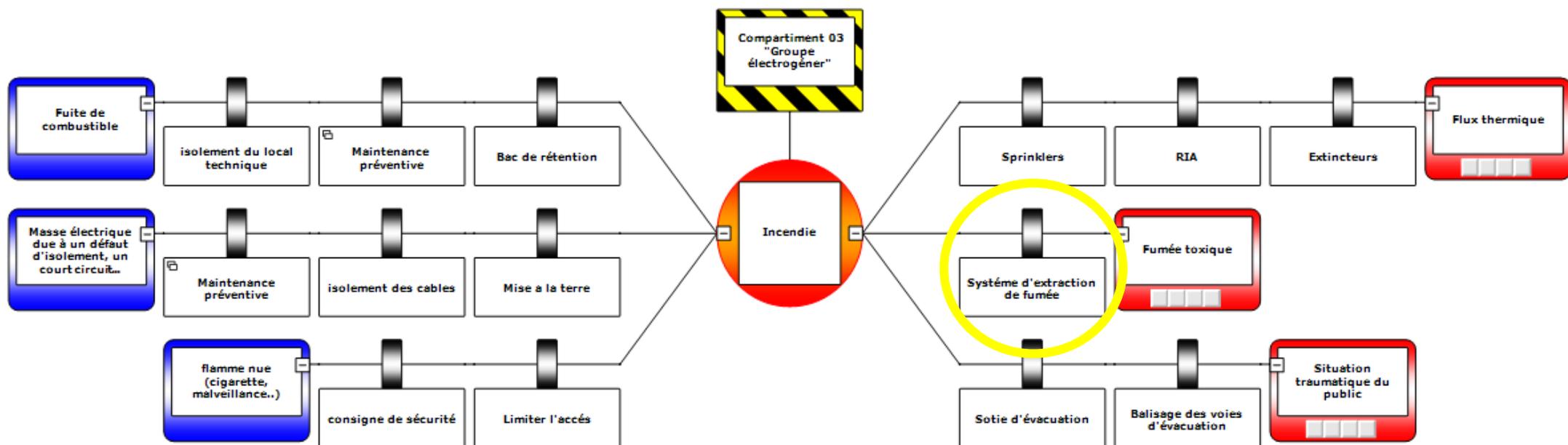


Figure 4.35 schéma du Scenario 3

4.5 Etude de la performance du désenfumage

4.5.1 Moyens d'analyse des résultats

A travers les scenarios nous allons vérifier l'efficacité de notre dimensionnement, les débits calculer auparavant est cela en utilisant les moyens d'analyse de FDS, les variables sur lesquelles l'analyse des résultats sera basée est la température, l'opacité et la concentration en CO_2 / O_2 , ces paramètres peuvent être obtenu sur FDS à travers la commande SLCF ou bien appelé slice qui nous permet d'avoir les mesures des paramètres en fonctions du temps. Ces derniers sont mis selon l'un des plans (OX, OY, OZ), nous mesurerons ces derniers à hauteur humaine c'est-à-dire à entre 1 m 50 et 2 m cela nous met un plan en 2D qui va nous permettre la visualisation des résultats sur la simulation les données utilisées sur notre étude seront obtenu par des capteurs disposée au moins une distance proche du feu a environs 30 mètre. La figure ci-dessous représente le tableau qui contient tous les slice utilisé pour la mesure des quantités voulu :

Visualisation des coupes 2D

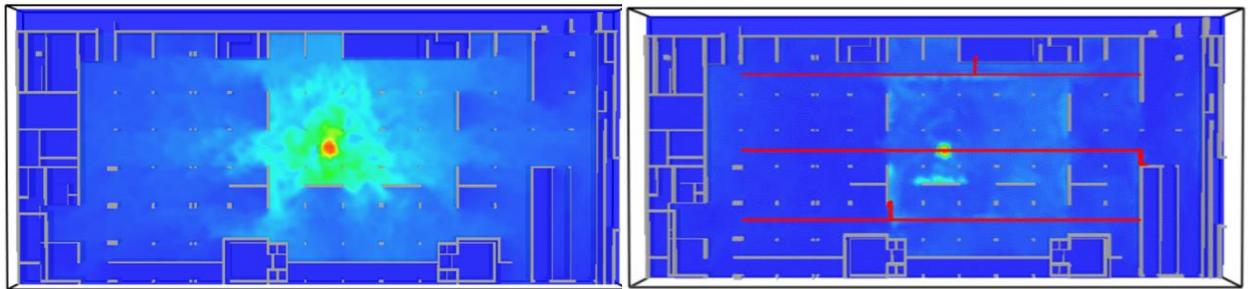
| Plan de la coupe | Valeur du plan | Quantité relative à la phase gazeuse | Utiliser un vecteur ? | Comme au centre ? |
|------------------|----------------|--|-----------------------|-------------------|
| 1 Z | 1,5 m | Température | Non | Non |
| 2 Z | 1,5 m | [Espèces: CARBON DIOXIDE] Fraction volumique | Non | Non |
| 3 Z | 2,0 m | Visibilité | Non | Non |
| 4 Z | 1,5 m | [Espèces: OXYGEN] Fraction volumique | Non | Non |
| 5 Z | 2,0 m | [Espèces: CARBON DIOXIDE] Fraction volumique | Non | Non |
| 6 Z | 2,0 m | [Espèces: OXYGEN] Fraction volumique | Non | Non |
| 7 Z | 1,5 m | Visibilité | Non | Non |
| 8 Z | 2,0 m | Température | Non | Non |
| * | | | | |

Figure 4.36 Slice des compartiments

Les quantités concerne sont la température l'oxygène et le dioxyde de carbone, ces trois paramètres sont les principaux contraintes auxquelles la fumée a des effets négatifs que ce soit sur l'intervention des pompiers ou bien directement sur les personnes présentes dans le parking.

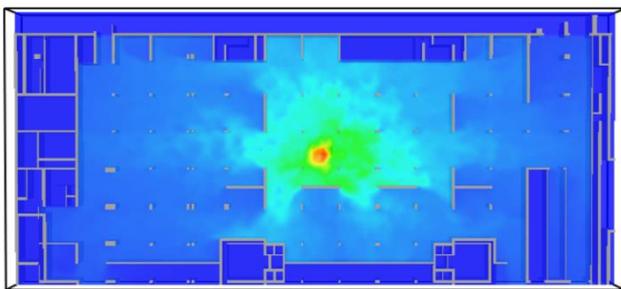
a) Compartment 1 :

⇒ Slice température :

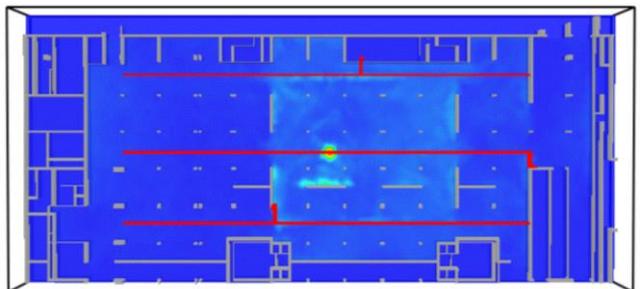


50 s

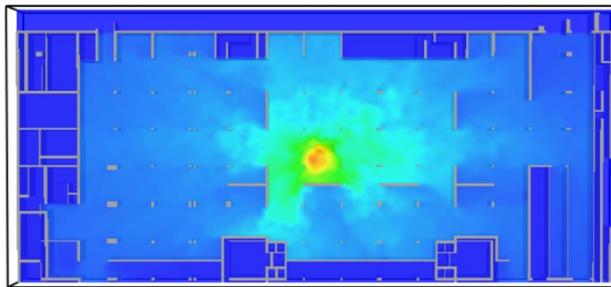
50 s



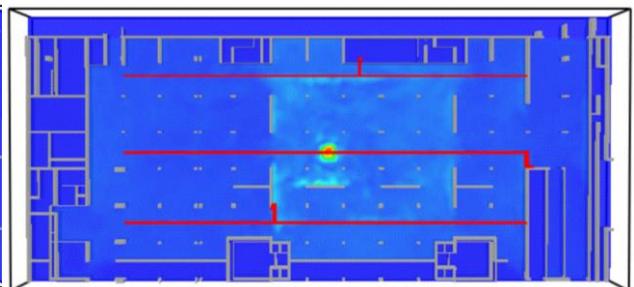
150 s



150 s



300 s



300 s



Figure 4.37 Slice température compartiment 1

⇒ Slice taux d'oxygène :

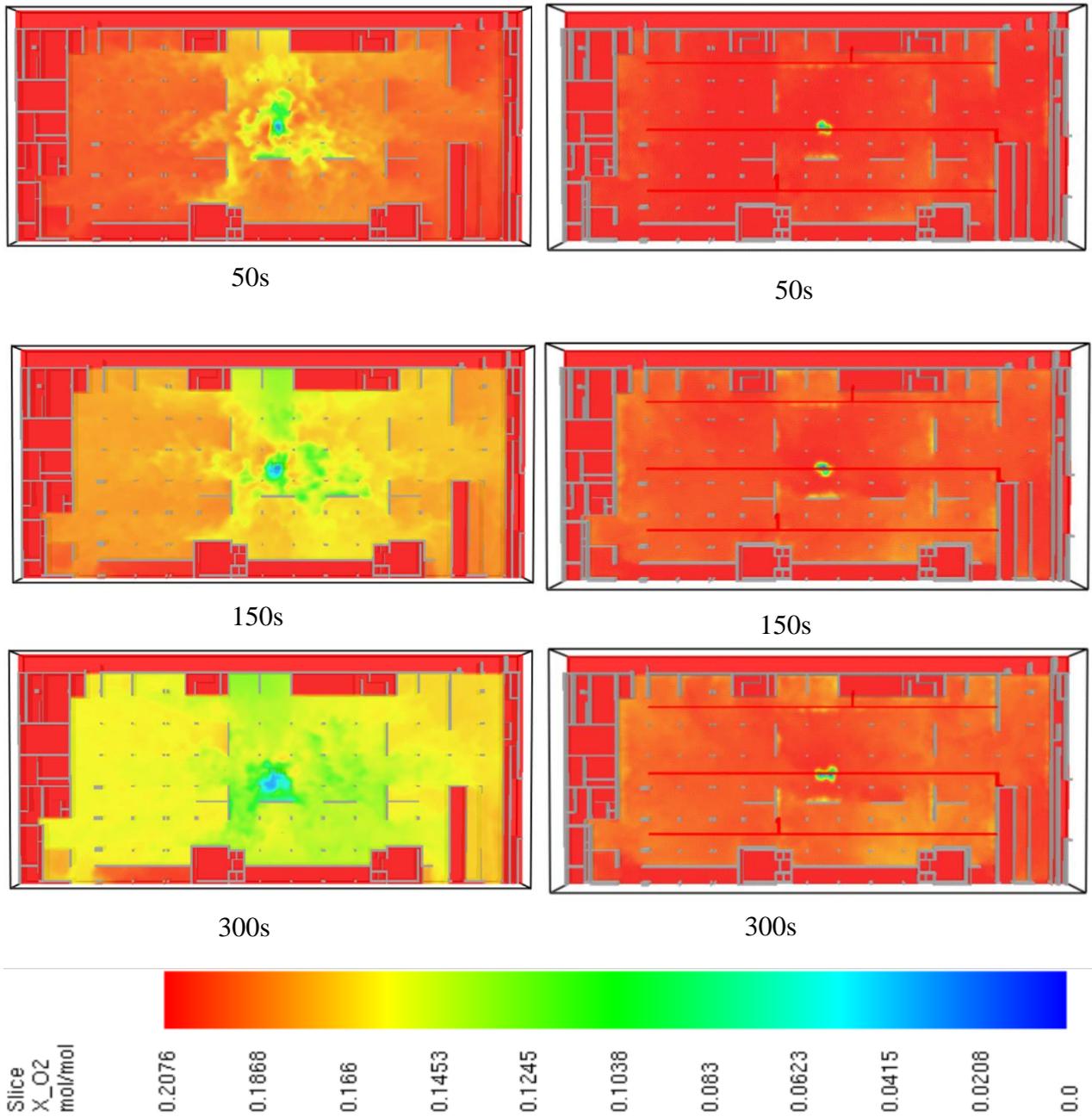
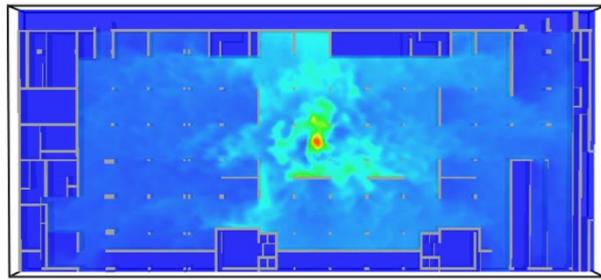
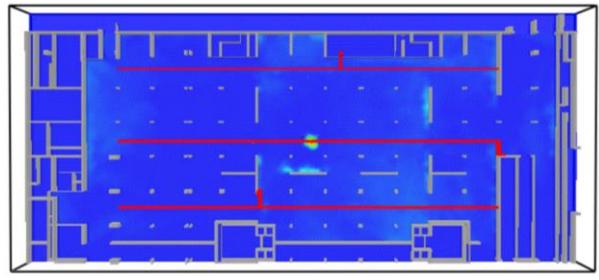


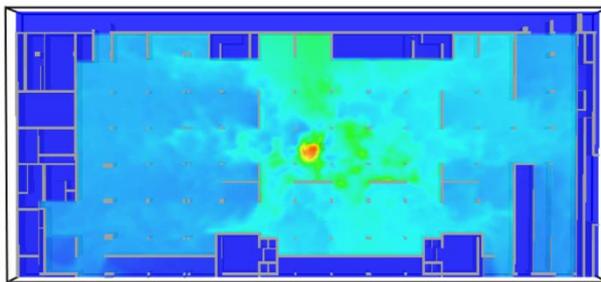
Figure 4.38 slice taux de O_2 compartiment 1



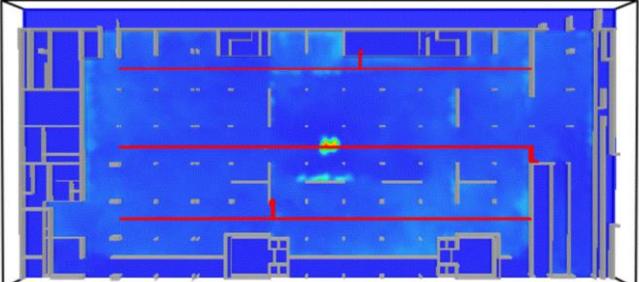
50s



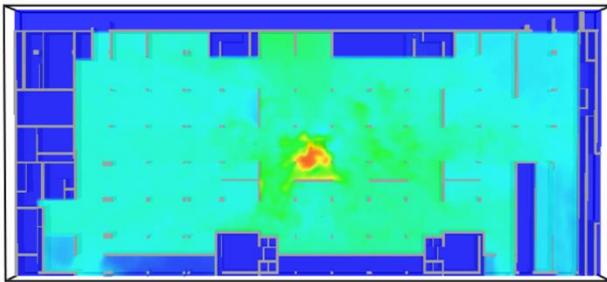
50s



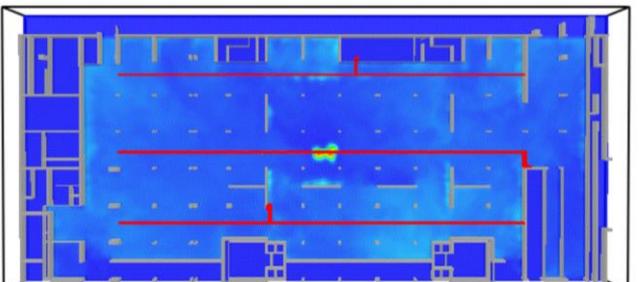
150s



150s



300s



300s

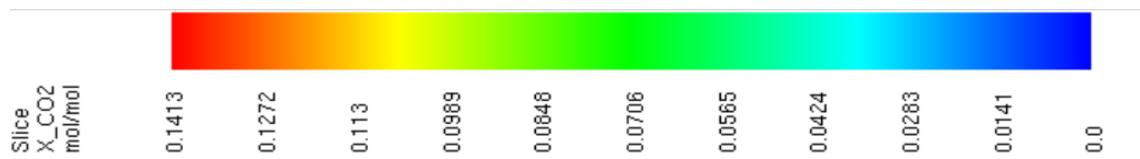


Figure 4.39 slice taux CO_2 compartiment 1

b) Compartment 2 :

⇒ Slice

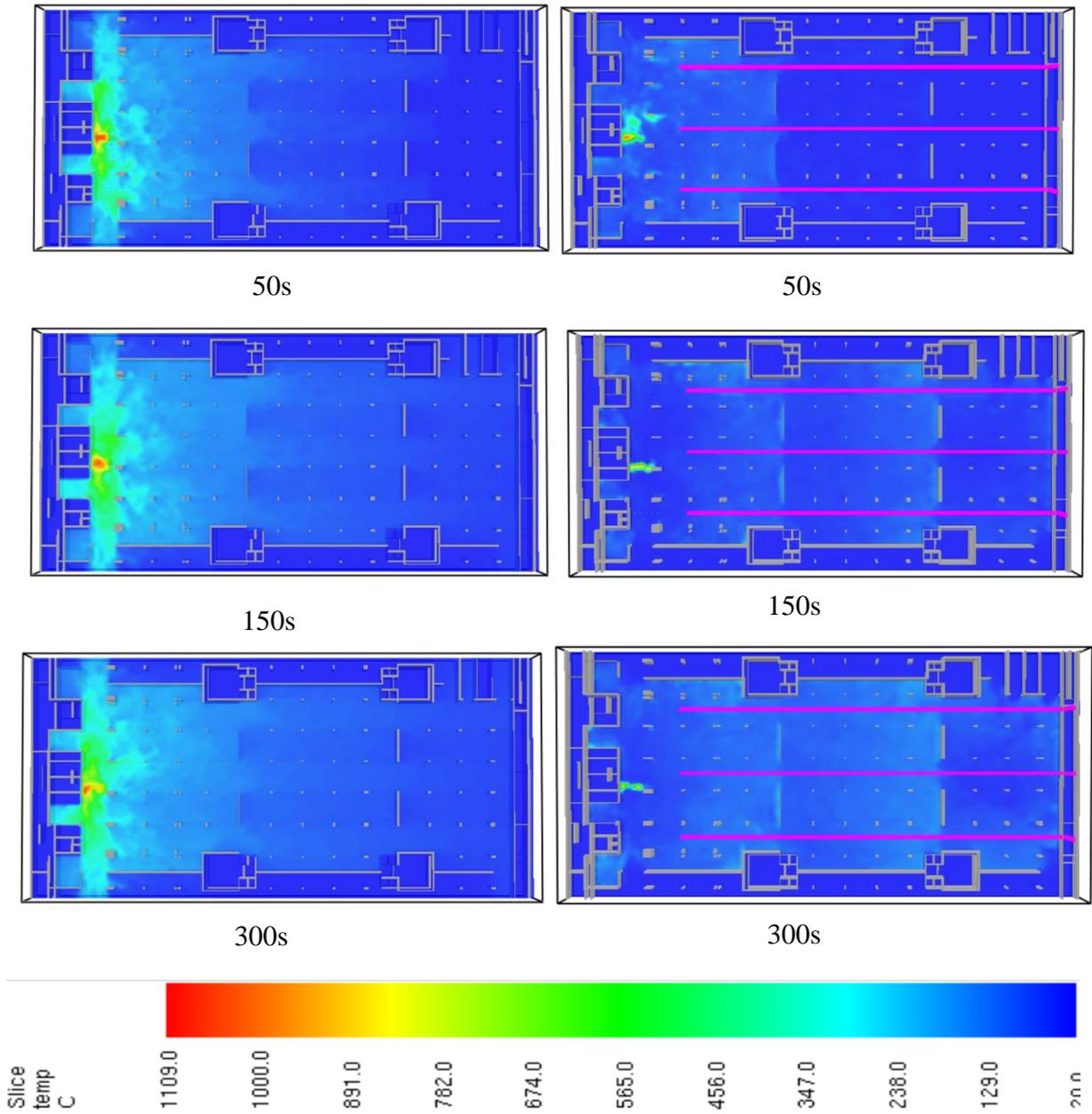


Figure 4.40 Slice température compartiment 2

⇒ Slice taux

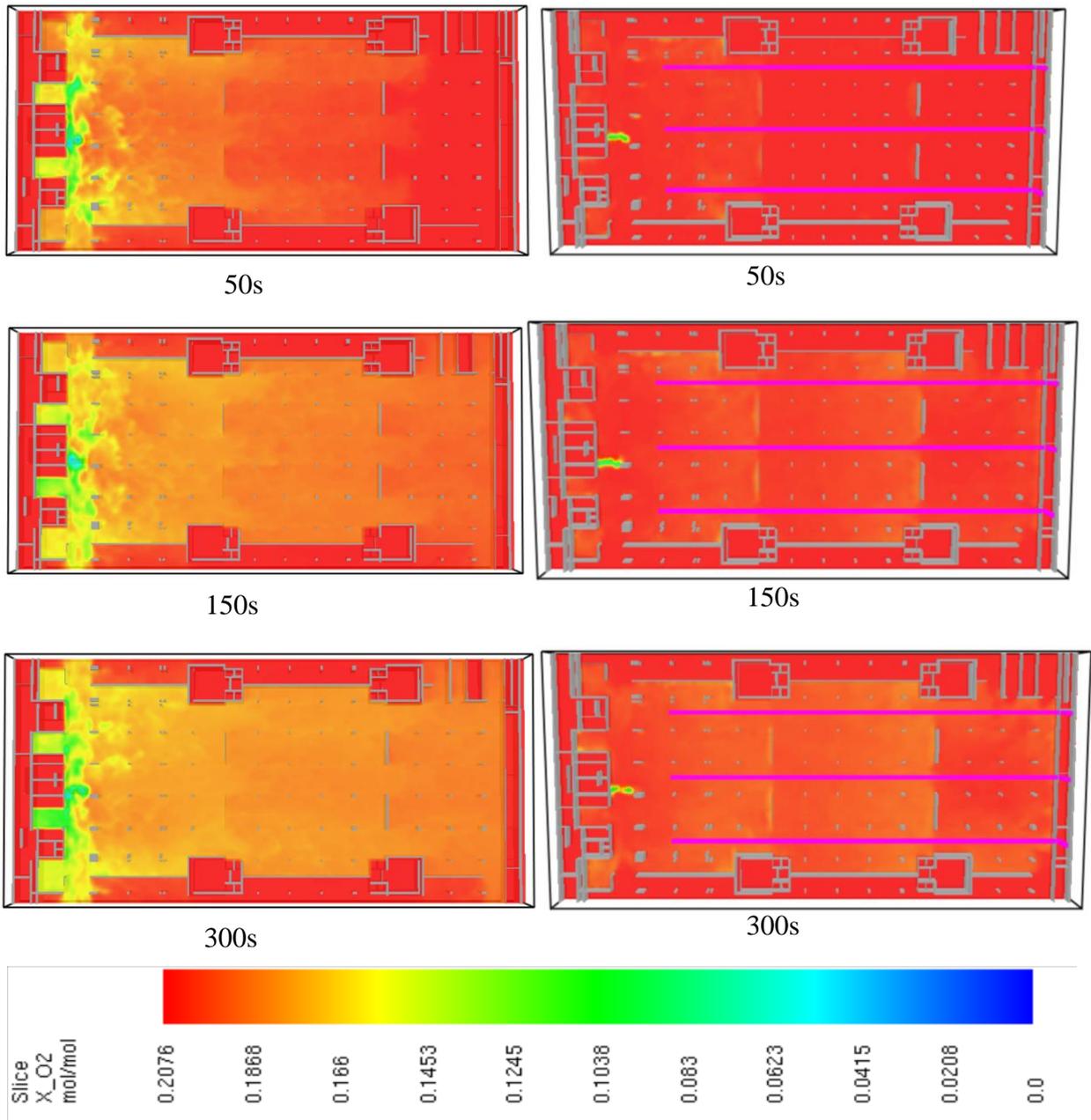


Figure 4.41 slice taux de O₂ compartiment 2

⇒ Slice taux de CO₂ :

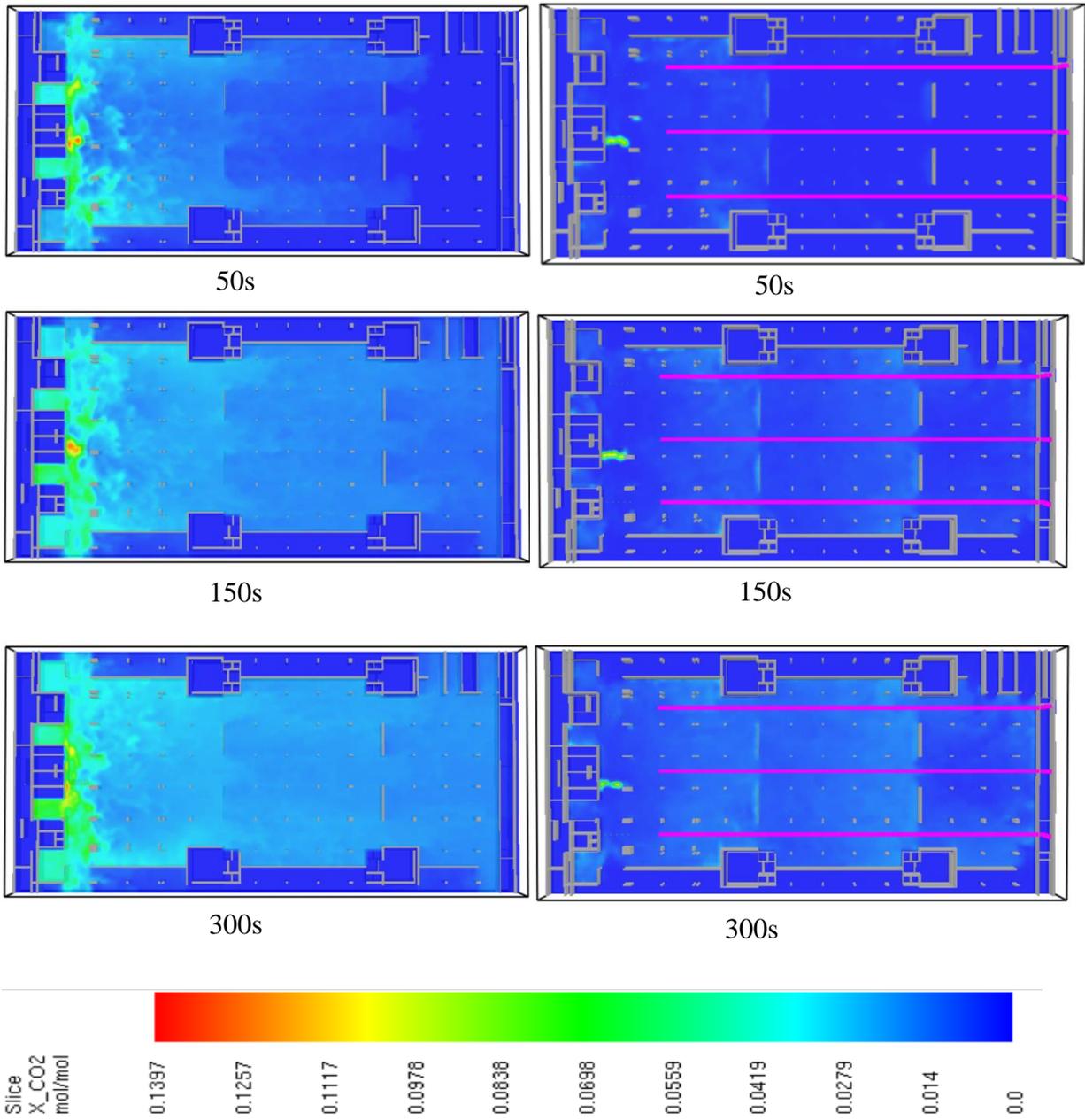


Figure 4.42 slice taux CO₂ compartiment 2

c) Compartiment 3 :
 ⇒ Slice température :

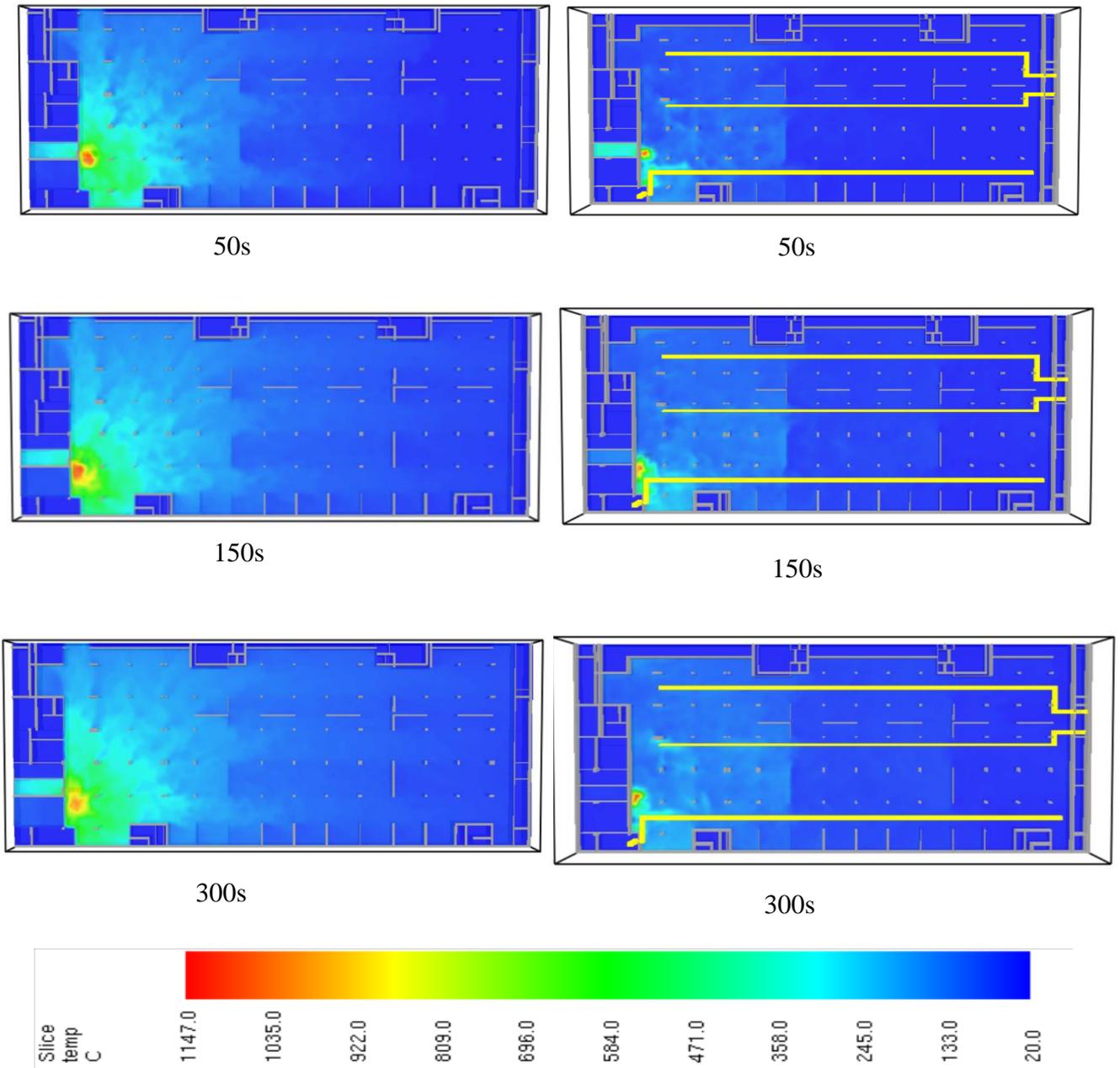


Figure 4.43 Slice température compartiment 3

⇒ Slice taux d'oxygène :

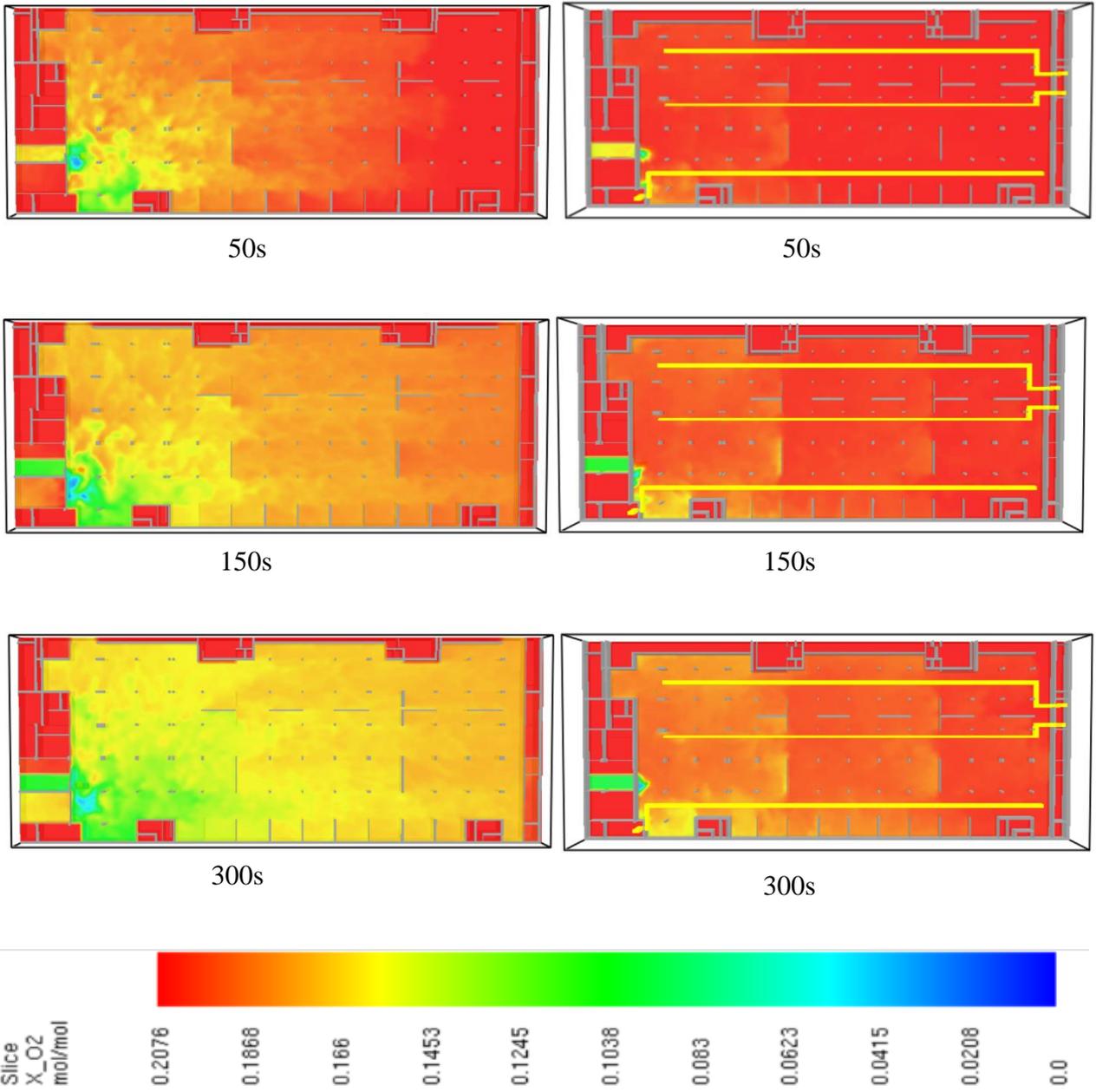


Figure 4.44 slice taux de O_2 compartiment 3

⇒ Slice taux de CO₂ :

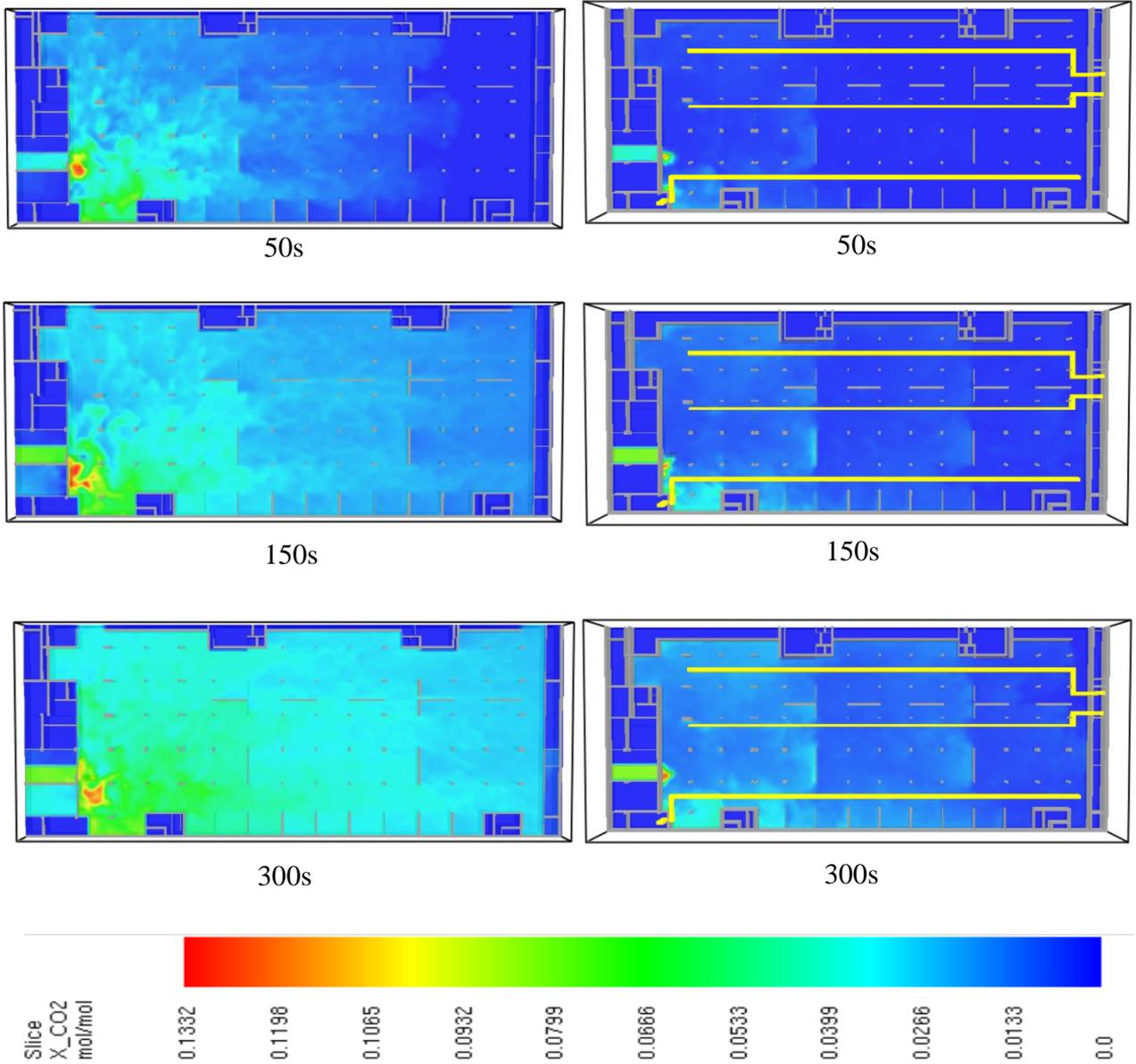


Figure 4.45 slice taux CO₂ compartiment 3

4.5.2 Les effets du feu sur les personnes :

L'objectif de la mise en place du système de désenfumage dans notre étude est d'assurer un niveau de sécurité des personnes et de préserver leur capacité à évacuer les lieux d'un sinistre par leurs propres moyens. Afin de porter l'intérêt sur l'importance de la mise en place de notre système de désenfumage, nous allons voir ici l'effet du feu sur les personnes lors d'un incendie les statistiques et les valeurs de mesure sont tirées de l'étude de E. Guillaume. [15]

- Effet de la température sur les personnes :

La température peut provoquer des effets de manière directe et instantanée et cela dépend de la vitesse du développement du feu, lors d'un incendie l'augmentation de la température peut engendrer des brûlures de la peau et de l'appareil respiratoire.

Les résultats de recherche de l'essai de feu d'école de Los Angeles ont montré qu'une température de 66 °C à une hauteur de 1,5 m conduisait à des conditions critiques pour l'évacuation. [15]

Une étude a montré que lors d'un incendie si la température atteint les 100°C peut provoquer des brûlures des dermes de la peau des êtres humains et toute évacuation devient impossible dès 150 °C [16]

Une table des effets de la température lors d'un incendie en fonction de la durée d'exposition a été établie par l'US Navy [17], elle est représentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4.3 Effet de la température [17]

| Température | Incapacitation | Létalité |
|-------------|--|------------|
| 90 °C | 35 minutes | 60 minutes |
| 150 °C | 5 minutes | 30 minutes |
| 190 °C | Immédiate | 15 minutes |
| 200 °C | Domage irréversible au vois respiratoire | |
| 340 °C | Mort instantanée | |

- Effet de l'opacité de la fumée sur la visibilité des personnes :

Dans un feu, les fumées représentent un danger majeur de par leur opacité, elle peut désorienter les personnes lors des évacuations, même si les personnes connaissent parfaitement les lieux. L'œil humain n'est pas conçu pour évoluer à travers la fumée, elle diminue la visibilité ce qui gêne l'évacuation des occupants et l'intervention des services de secours.

La visibilité dépend de nombreux paramètres, dont la densité optique, le coefficient d'extinction des fumées et l'acuité visuelle des individus elle-même fonction de la dilatation de la pupille.

Dans un calcul d'incendie utilisant l'approche chimique simple, la fumée est suivie avec tous les autres principaux produits de combustion [13]. Cela signifie que pour chaque cellule du modèle, la densité de fumée est connue. Le coefficient d'extinction de la lumière, K , est le paramètre clé utilisé pour calculer à la fois la visibilité et l'obscurcissement dû à la lumière. L'intensité de lumière monochromatique (I) (longueur d'onde unique) traversant une distance (L) par la fumée est atténuée comme suit :

$$\frac{I}{I_0} = e^{-KL}$$

L : trajet optique (trajet suivi par la lumière à travers la fumée) (m)

K : coefficient d'extinction moyen de la lumière (m^{-1})

I_0 : Intensité lumineuse transmise en l'absence de fumées

I : Intensité lumineuse transmise en présence de fumées (dans la même unité que I_0).

$$-\frac{1}{L} \ln \frac{I}{I_0} = K$$

Plusieurs modèles sont mis en place selon des études effectuées par des chercheurs qui fixent les limites du coefficient d'extinction et la densité optique admissible, ces résultats sont résumés dans le tableau suivant [15] :

Tableau 4.4 seuil du coefficient d'extinction [15]

| Modèle | Coefficient d'extinction (m^{-1}) |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Jin – Chemin d'évacuation inconnu | 0,15 |
| Jin – Chemin d'évacuation connu | 0,50 |
| Rasbash | 0,19 |
| Babrauskas | 1,2 |

- Effet de l'intoxication par la fumée :

Environ 80% des victimes d'un incendie sont intoxiquées par les fumées. Un feu consomme de l'oxygène et produit du dioxyde de carbone, et selon la nature des combustibles, des gaz ammoniac, vapeurs d'acide chlorhydrique, cyanhydrique. [2]

Lors d'un incendie, la dégradation des matériaux produit de la chaleur, des fumées, des gaz toxiques et une raréfaction de l'oxygène dans l'air ambiant en espace clos, sa chute peut être extrêmement rapide n'excédant pas quelques minutes.

Lorsque la fumée atteint une fraction de 17% d'oxygène dans l'air, elle influence sur le fonctionnement du cerveau et en particulier la vigilance, elle va entraîner une incoordination motrice qui est de nature à empêcher la victime de s'échapper ou de réagir correctement.

Avec la raréfaction de l'oxygène dans l'air une dépression du système nerveux s'installe qui induit les personnes présentes à un état de coma. Les effets d'une baisse de la teneur en oxygène sont repris dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4.5 effet du taux d'oxygène [15]

| Teneur volumique dans l'atmosphère | Effet |
|------------------------------------|--|
| 17% | Baisse de la vision, Accroissement de la quantité d'air inspiré Accélération du rythme cardiaque |
| 16% | Vertiges |
| 15% | Perte du contrôle de la motricité Troubles du jugement et de l'attention |
| 12% | Perte de conscience Lésions cérébrales irréversibles |
| 10% | Perte de conscience Nausées Vomissements |
| 6% | Mort en 5 à 8 minutes |

Lors de la réaction de combustion la fumée engendrée produit des gaz notamment le dioxyde de carbone qui est produit en grande quantité, les effets de ce dernier sont similaires aux effets de la raréfaction de l'oxygène, il présente des effets asphyxiants. L'air ambiant contient environ 0.04 % (400 ppm) de CO₂ [18]. L'inhalation de concentrations de CO₂ plus élevées provoque les symptômes représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4. 6 effet du taux de CO2 [18]

| Teneur volumique dans l'atmosphère | Effet |
|------------------------------------|---|
| 1% | Légère accélération de la respiration |
| 2% | Respiration plus profonde jusqu'à 50 % plus rapide Maux de tête et des signes de fatigue |
| 3% | La respiration devient difficile Accélération du rythme cardiaque diminution de l'acuité auditive |
| De 4 à 5% | symptômes déjà mentionnés s'ajoutent après une trentaine de minutes un sentiment étourdissement |
| De 5 à 10% | la vue se brouille et les oreilles sonnent. La capacité de jugement est diminuée. La perte de conscience peut intervenir en l'espace de quelques minutes. |
| Plus de 10% | Perte de conscience et mort immédiate |

L'inhalation de suies chaudes dans les voies aériennes entraînant des brûlures locales par transfert thermique et elles sont chargées de produits provoquant des irritations, les suies sont des aérosols formés surtout de carbone, d'hydrocarbures lourds et de composés polycycliques azotés, ces suies sont extrêmement chaudes elles peuvent aussi provoquer des brûlures externes au niveau de la peau.

4.5.3 Opacité de la fumée dans les trois compartiments

- *Compartiment 1 :*

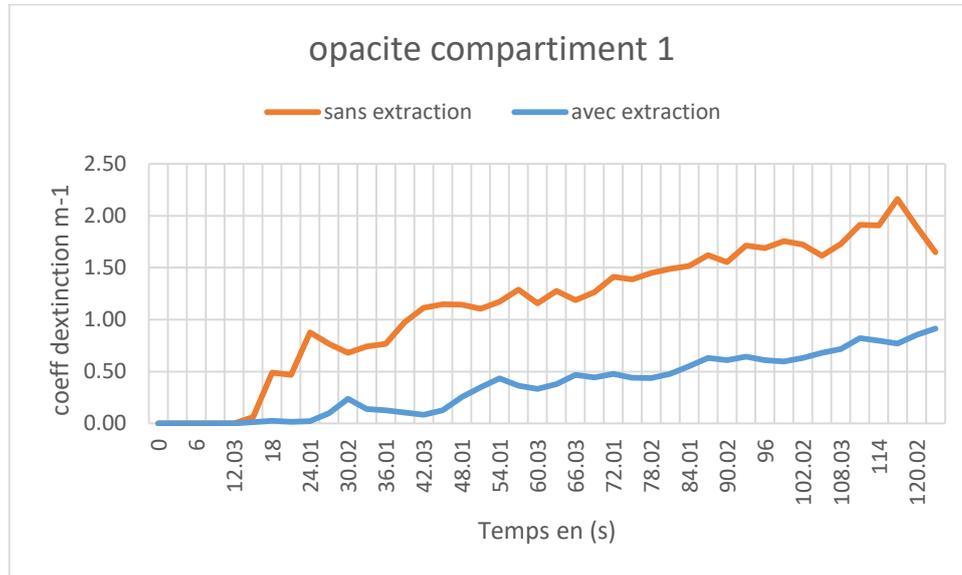


Figure 4.46 resultats du coef d'extinction du compartiment 1

Interprétation :

Sans la mise en place du système d'extraction : on remarque bien que le coefficient d'extinction est entrain d'augmenter progressivement avec le temps jusqu'à une valeur maximale de 2,2 à 114s.

Avec la mise en place du système on observe une amélioration importante dans les valeurs du coefficient, ou la valeur maximale est de 0,9 après 120s du début du feu.

Le système a une capacité de diminuer l'opacité jusqu' à 50% de sa valeur.

Selon les seuils limites du modelé Babrauskas (1,2 m-1) : l'opacité du compartiment qui prend feu atteint le seuil maximal toléré dans 42s seulement, mais avec la mise en place du système d'extraction le seuil n'est pas atteint dans l'intervalle de temps sélectionné.

- *Compartiment 2 :*

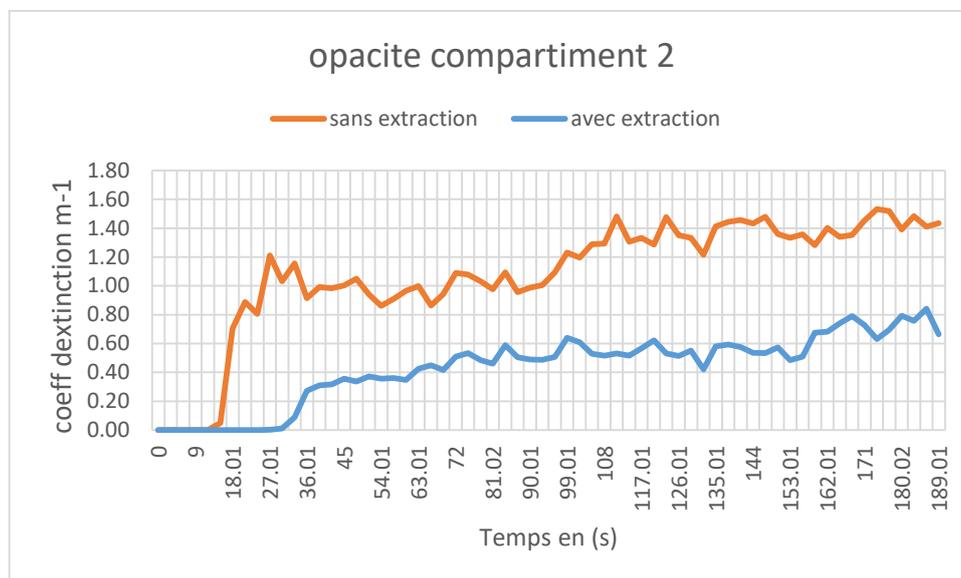


Figure 4.47 Résultats du coef d'extinction du compartiment 2

Interprétation :

Sans la mise en place du système d'extraction : on remarque bien que le coefficient d'extinction est entrain d'augmenter progressivement avec le temps jusqu'à une valeur maximale de 1,6 à 117s.

Avec la mise en place du système on observe une amélioration importante dans les valeurs du coefficient, ou la valeur maximale est de 0,6 après 180s du début du feu.

Le système a une capacité de diminuer l'opacité jusqu' à 50% de sa valeur.

Selon les seuils limites du modelé Babrauskas ($1,2 \text{ m}^{-1}$) : l'opacité du compartiment qui prend feu atteint le seuil maximal toléré dans 27s seulement, mais avec la mise en place du système d'extraction le seuil n'est pas atteint dans l'intervalle de temps sélectionné.

- *Compartment 3 :*

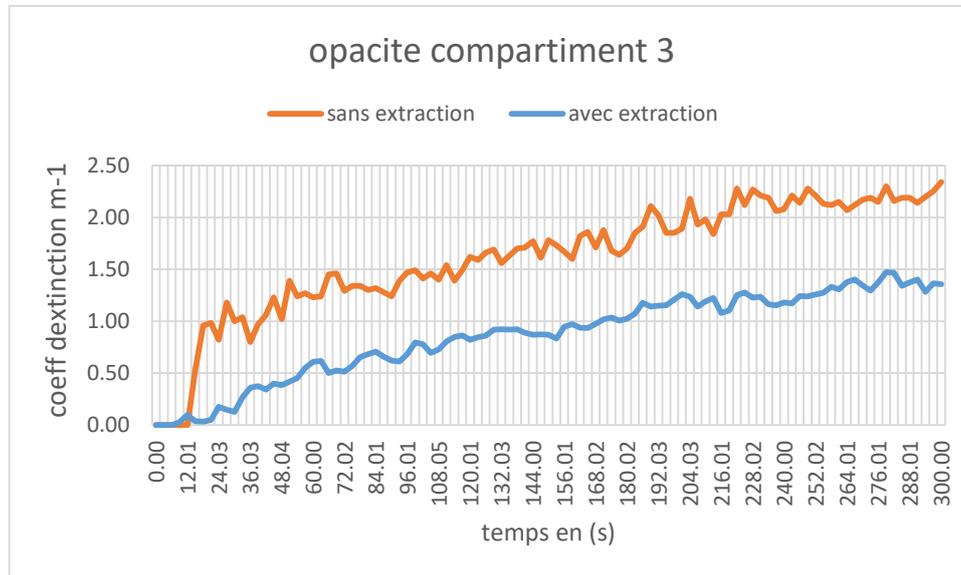


Figure 4.48 Résultats du coef d'extinction du compartiment 3

Interprétation :

Sans la mise en place du système d'extraction : on remarque bien que le coefficient d'extinction est entrain d'augmenter progressivement avec le temps jusqu'à une valeur maximale de 2,3 à 276s.

Avec la mise en place du système on observe une amélioration importante dans les valeurs du coefficient, ou la valeur maximale est de 1 après 280s du début du feu.

Le système a une capacité de diminuer l'opacité jusqu' à 50% de sa valeur.

Selon les seuils limites du modelé Babrauskas ($1,2 \text{ m}^{-1}$) : l'opacité du compartiment qui prend feu atteint le seuil maximal toléré dans 20s seulement, mais avec la mise en place du système d'extraction le seuil n'est pas atteint dans l'intervalle de temps sélectionné.

4.5.4 Température

- *Compartment 1*

Le compartiment 1 qui se situe en haut du parking, et possède 2 ouvertures vers l'extérieur sous forme d'une pente, les résultats de la simulation de température sont représentés dans le graphe ci-dessous :

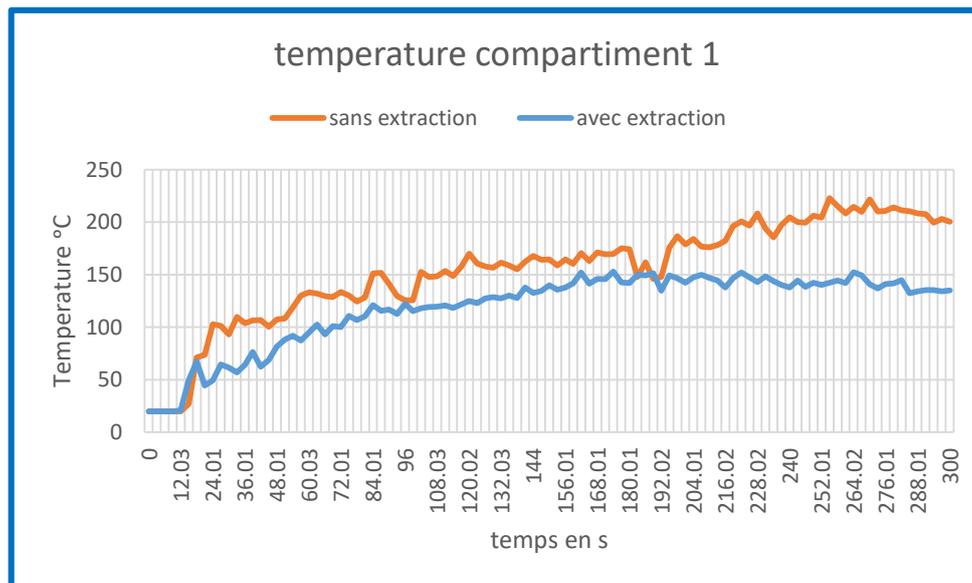


Figure 4.49 Résultats température compartiment 1

Sur cette figure qui représente les courbes de température de nos deux essais sans et avec extraction, ce qu'on remarque dans le cas sans système de désenfumage c'est que la courbe est plus élevée que celle qui possède le système d'extraction, et cela est dû à l'évacuation des suies chaude. Le maximum de température est de 223°C elle est atteinte au bout de 255s (4min 25s) l'augmentation de la température se fait de manière progressive, on peut amener cela a les sorties et l'entrée du parking qui se trouve dans le compartiment 1 qui permette d'évacuer une partie de la fumée.

Sur la deuxième courbe celle de l'extraction par le système de désenfumage la température maximale s'élève à 150 °C au bout de 183s (environ 3min). Les conditions critique d'évacuation est de 66°C elle est attient à environ 45s et l'évacuation devienne impossible a 150°C c'est-à-dire la température maximale dans ce cas on peut dire que les individus auront le temps nécessaire pour l'évacuation, le tableau ci-dessous représente les résultats obtenus et leurs effets selon les études déjà mentionnée :

Tableau 4. 7 récapitulatif des résultats de température compartiment 1 et leurs effets

| Temps Sans extraction | Température Atteinte | Effet | Temps Avec extraction | Température Atteinte | Remarque |
|-----------------------|----------------------|---|-----------------------|----------------------|---|
| 18s | 66°C | Conditions critiques pour l'évacuation. | 45s | 66°C | Conditions critiques pour l'évacuation. |
| 84.01s | 150°C | Brûlures de la peau toute évacuation devient impossible | 183s | 150°C | Brûlures de la peau toute évacuation devient impossible |
| 219.02s | 190°C | Effet immédiat incapacité au mouvement | — | — | — |
| 228.02s | 200°C | Dommage irréversible au vois respiratoire | — | — | — |

• *Compartiment 2 :*

Le compartiment 2 qui se situe en milieu dans notre parking, l'origine du feu est supposé provenir du local compresseur a air le graphe ci-dessous représente les résultats de la simulation qui nous montre le degré de la température sur une durée de 300s ces résultats sont obtenus sur deux simulations une avec notre système d'extraction et l'autre sans système d'extraction :

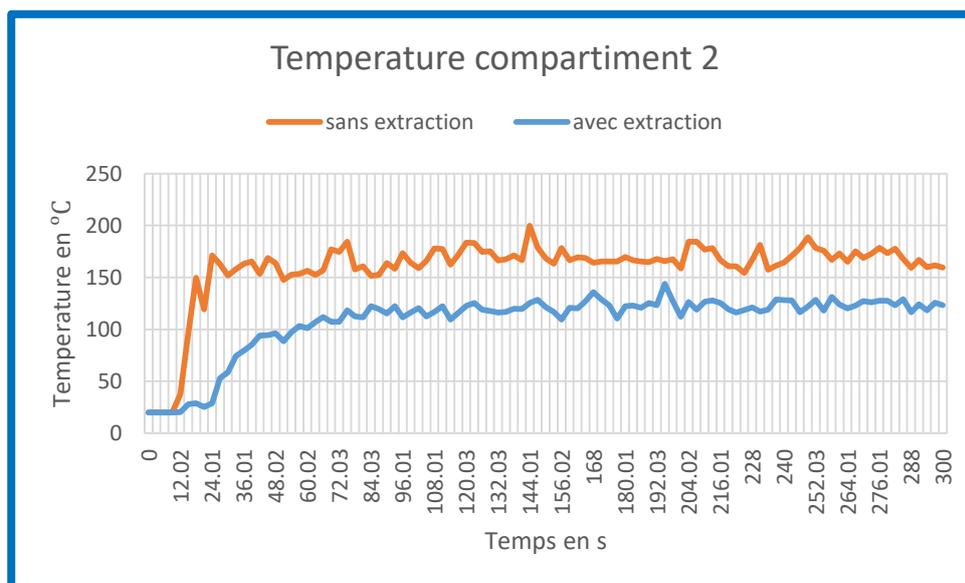


Figure 4.50 Résultats température compartiment 2

Le graphe ci-dessus nous indique les différentes températures au cours du temps, nous pouvons voir l'évolution croissante de la température des deux simulations. Ce qu'on remarque directement sur ce graphe c'est la différence entre les deux courbes avec un système d'extraction, cette différence est due à la chaleur transmise par la fumée dans le premier cas l'extraction de fumée n'est pas effectuée donc cela augmente rapidement le taux de chaleur dans le compartiment. La température peut atteindre un maximum de 200°C au bout de 145s ce qui équivaut à 2min 25s. Aussi ce qu'on voit sur la courbe c'est l'élévation brusque de la température dès les premières secondes n'a même pas 24 secondes la température a atteint les 172°C ce qui peut être fatale pour les personnes qui sont présentes dans le compartiment 2.

En ce qui concerne la deuxième courbe avec l'extraction, la température est moins élevée que le premier cas, elle peut atteindre un maximum à environ 145°C au bout de 195 secondes (3min et 15s), et ici on voit bien que la courbe augmente de manière modérée les premières secondes ce qui nous laisse un peu de temps pour permettre l'évacuation des personnes. On peut noter une amélioration avec la mise en place de l'extraction mais cela reste toujours dépanant de la durée d'exposition à cette température.

On remarque bien que le système a une capacité de diminuer la température de 50 C minimum. En comparant nos résultats avec les seuils de température mise par les études mentionnées dans les effets de la température on peut résumer cela dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4. 8 récapitulatif des résultats de température compartiment 2 et leurs effets

| Temps Sans extraction | Température | Effet selon les études | Temps Avec extraction | Température | Effet selon les études |
|-----------------------|-------------|---|-----------------------|-------------|---|
| 15s | 66°C | Conditions critiques pour l'évacuation. | 33s | 66°C | Conditions critiques pour l'évacuation. |
| 84.01s | 150°C | Brûlures de la peau toute évacuation devient impossible | — | — | — |
| 144 s | 190°C | Effet immédiat incapacité au mouvement | — | — | — |
| 145 s | 200°C | Domage irréversible au vois respiratoire | — | — | — |

D'après ces résultats la mise en place de notre système d'évacuation ne permet pas d'atteindre une température de 150°C qui peut provoquer des brûlures graves aux personnes, ce qui engendre une impossibilité d'évacuation. Néanmoins les conditions d'évacuation restent critiques car la température est au-dessus de 66°C mais l'évacuation est toujours faisable tant

que la température n'atteint pas les 150°C, et comme la température maximale est atteinte à 3min 15s, ce qu'on peut déduire que la durée d'évacuation est à 3min et c'est largement suffisant.

- *Compartiment 3 :*

L'incendie du compartiment 3 et sensé être d'origine du groupe électrogène la figure suivante représente l'évolution de la température au courtes des 300s de simulation :

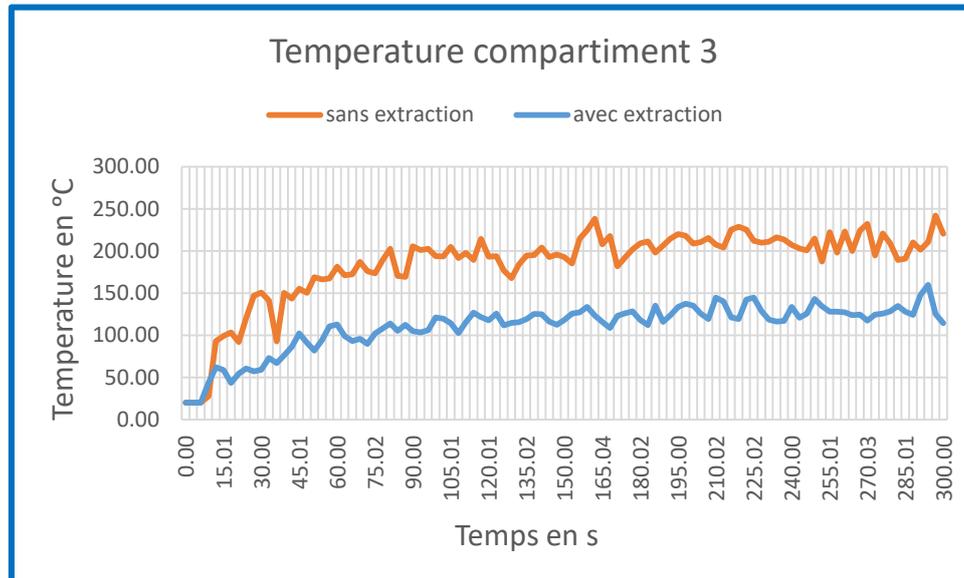


Figure 4.51 Résultats température compartiment 3

Dans le graphe le premier cas représente la courbe de température sans extraction on remarque que le maximum de température est de 242°C atteinte au bout de 297s, dans ce cas la température dépasse les 200°C sur un temps de 81s, et au bout de 30s la température atteint le seuil de l'évacuation impossible qui est de 150°C.

En ce qui concerne la courbe d'évolution de la température avec un système d'extraction, on peut voir que le maximum de température est de 160°C qui est atteinte dans les 291s (4 min 51s), comme on la mentionnée précédemment la différence entre ces deux courbes est dû à l'extraction de fumée et des suies chaude à travers les gaine qui permet de baissée la température à un niveau plus au moins acceptable. Les résultats sont évalués par rapport au seuil définit lors des études des effets de la température sur les personnes dans le tableau suivant :

Tableau 4.9 récapitulatif des résultats de température compartiment 3 et leurs effets

| Temps Sans extraction | Température | Effet selon les études | Temps Avec extraction | Température | Effet selon les études |
|-----------------------------|-------------|---|-----------------------------|-------------|---|
| 12.01s | 66°C | Conditions critiques pour l'évacuation. | 36.01s | 66°C | Conditions critiques pour l'évacuation. |
| 30s | 150°C | Brûlures de la peau toute évacuation devient impossible | 291.01s | 150°C | Brûlures de la peau toute évacuation devient impossible |
| 78 s | 190°C | Effet immédiat incapacité au mouvement | — | — | — |
| 81 s | 200°C | Domage irréversible au vois respiratoire | — | — | — |

Au niveau du compartiment 3 l'augmentation de température s'accroît très vite en quelque seconde, mais avec la mise en place des gaines d'extraction les 150°C sont dépassée dans les dernières secondes à 291s. Donc on peut dire que notre système aide à diminuer la température dans le compartiment mais les effets de la température sur les personnes dépendent toujours à la durée d'exposition de ces derniers, dans ce cas les conditions critique pour l'évacuation c'est à dire à 66°C arrive au bout de 36s, l'évacuation peut être estimé à 3min c'est-à-dire avant que la température attient les 150°C.

4.5.5 Concentration en CO₂ /O₂

La composition de l'air que les personnes respirent lors d'un incendie se compose majoritairement des molécules de gaz engendrée par le combustible dont le dioxyde de carbone ce gaz est génère à partir de la combinaison oxygène + combustible ce qui implique une diminution du taux d'oxygène.

- *Compartment 1 :*

La figure ci-dessous représente les résultats du taux d'oxygène obtenu par deux simulations du compartiment 1 :

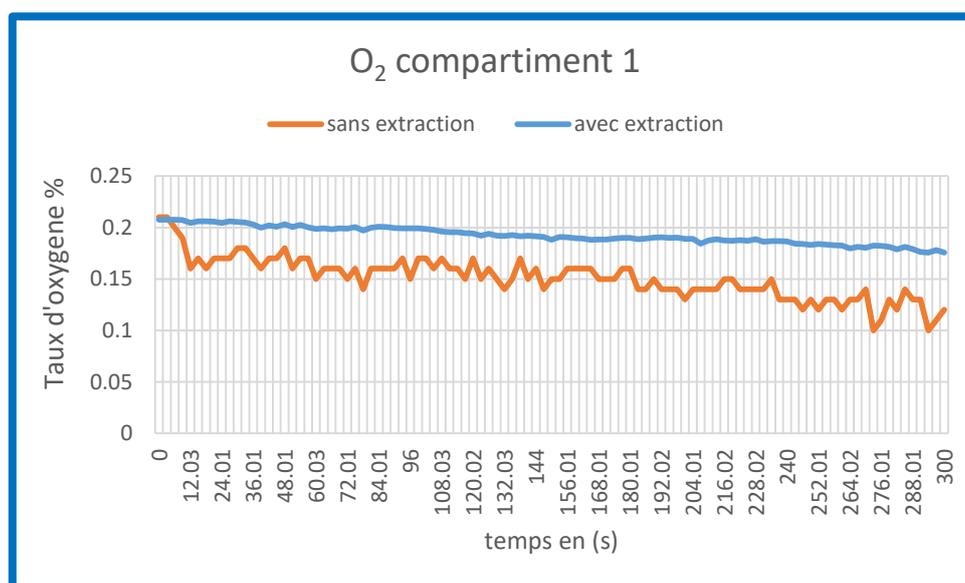


Figure 4.52 Résultats de taux d'O₂ compartiment 1

Sur ce graphe on voit bien la différence entre le compartiment avec le système d'extraction et le même compartiment sans système d'extraction, le taux d'oxygène diminue au fur et à mesure que le temps s'écoule, cela est dû à l'accumulation de la fumée dans le compartiment.

Le taux d'oxygène dans le cas où on n'a pas de système d'extraction atteint la valeur minimale de 10% au bout de 273s (4min 55s), concernant le taux d'oxygène dans le cas où on a l'extraction, il reste acceptable car le dernier ne diminue pas jusqu'à la valeur critique qui est de 17% d'oxygène dans l'air, le taux baisse au minimum à 18% et cela toute au long des 300s de simulation. Les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous avec l'effet du manque d'oxygène obtenu à partir des études :

Tableau 4.10 récapitulatif des résultats taux d'O₂ compartiment 1 et leurs effets

| Temps Sans extraction | Taux d'oxygène | Effet selon les études |
|-----------------------|----------------|--|
| 15.03s | 17% | Baisse de la vision, Accroissement de la quantité d'air inspiré Accélération du rythme cardiaque |
| 63.01s | 16% | Vertiges |
| 117.01s | 15% | Perte du contrôle de la motricité Troubles du jugement et de l'attention |
| 246.03s | 12% | Perte de conscience Lésions cérébrales irréversibles |
| 273s | 10% | Perte de conscience Nausées Vomissements |

La figure ci-dessous représente le taux de CO₂ dans le compartiment 1 lors de l'incendie supposée par le scenario 1 :

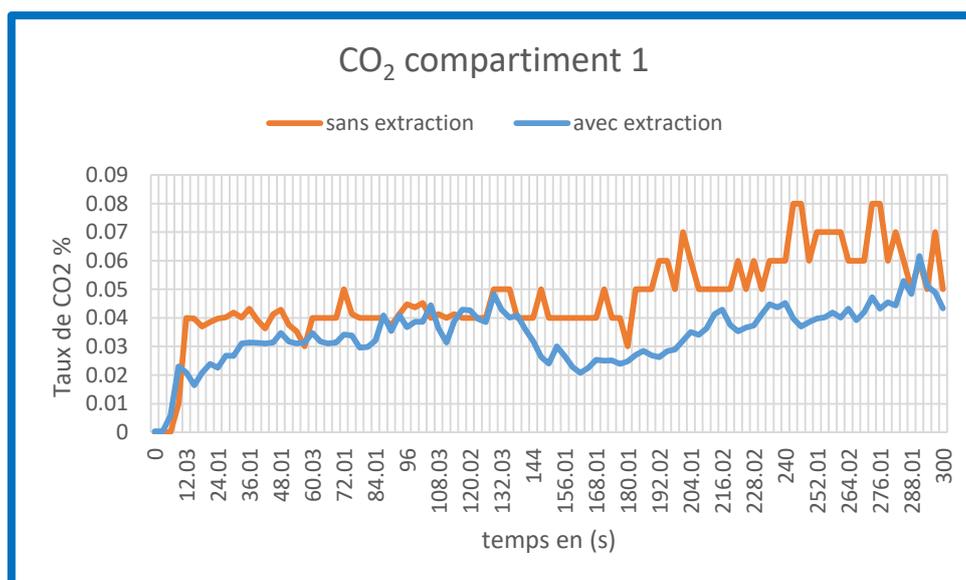


Figure 4.53 résultats compartiment 1 du taux de CO₂

Sur la figure on remarque que le taux de CO₂ est plus élevé dans le cas de sans extraction, il peut atteindre un taux de de 7% ce qui est dangereux pour les personnes qui se trouve dans le parking. Dans le cas où on dispose d'un système d'extraction le taux de CO₂ a une valeur maximale de 5 à 6% ce qui reste quand même un taux assez élever mais, cette valeur n'est attient qu'à partir de 273s c'est-à-dire a presque 5min, les individus présent dans le parking auront largement le temps d'évacuer les lieux avant d'atteindre cette valeur critique.

Le tableau ci-dessous représente une analyse de comparaison entre les deux courbes obtenues par la simulation et les effets qui peuvent provoquer sur l'homme :

Tableau 4. 11 récapitulatif des résultats taux de CO₂ compartiment 1 et leurs effets

| Temps Sans extraction | Temps Avec extraction | Taux de CO ₂ % | Effet selon les études |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------|---|
| 9.02s | 9.02s | 2% | Respiration plus profonde jusqu'à 50 % plus rapide Maux de tête et des signes de fatigue |
| 9.02 | 27s | 3% | La respiration devient difficile Accélération du rythme cardiaque Diminution de l'acuité auditive |
| 12.03s | 93.01s | De 4 à 5% | symptômes déjà mentionnés s'ajoutent après une trentaine de minutes un sentiment étourdissement |
| 192.02s | 285s | De 5 à 10% | la vue se brouille et les oreilles sonnent. La capacité de jugement est diminuée. La perte de conscience peut intervenir en l'espace de quelques minutes. |

- *Compartiment 2 :*

Dans le compartiment 2 le graphe ci-dessous représente le taux d'oxygène présent au cours du temps, ce taux d'oxygène diminue avec la réaction de combustion :

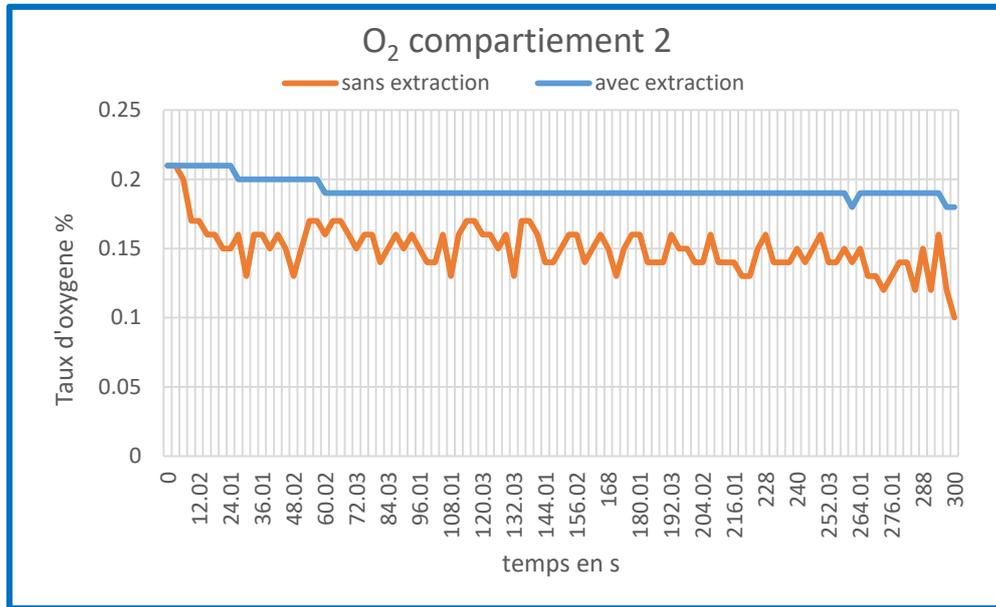


Figure 4.54 Résultats de taux d'O₂ compartiment 2

Ce qu'on remarque dans ce graphe c'est que le taux d'oxygène diminue rapidement sans un système d'extraction de fumée et cela est dû à l'accumulation des gaz toxique engendrée par la réaction de combustion, dans ce cas le taux d'oxygène peut atteindre 10% d'oxygène dans l'air à 300s ce taux peut être fatal pour certaines personnes. Dans la courbe avec l'extraction le taux d'oxygène est plus au moins stable à 19% est cela n'a pas d'effet observable selon les études effectuer ce qui est un bon résultat.

Comme le taux d'oxygène dans le cas où on dispose d'un système d'extraction ne figure pas dans les effets sur les personnes présentes dans le parking, le tableau suivant représente l'analyse de nos résultats avec l'étude des effets du manque d'oxygène :

Tableau 4.12 récapitulatif des résultats taux d'O₂ compartiment 2 et leurs effets

| Temps Sans extraction | Taux d'oxygène | Effet selon les études |
|-----------------------|----------------|---|
| 9.02s | 17% | Baisse de la vision, Accroissement de la quantité d'air inspiré Accélération du rythme cardiaque |
| 141.01s | 16% | Vertiges |
| 150.02s | 15% | Perte du contrôle de la motricité Troubles du jugement et de l'attention |
| 273s | 12% | Perte de conscience Lésions cérébrales irréversibles |
| 300s | 10% | Perte de conscience Nausées Vomissements |

En ce qui concerne le taux de CO₂, certes que ce gaz est présent dans l'atmosphère qu'on respire mais a forte dose peut être fatale et avoir des effets irréversibles sur le corps humain le graphe ci-dessous nous montre la différence de taux de CO₂ entre la simulation du compartiment avec extraction et une simulation sans extraction :

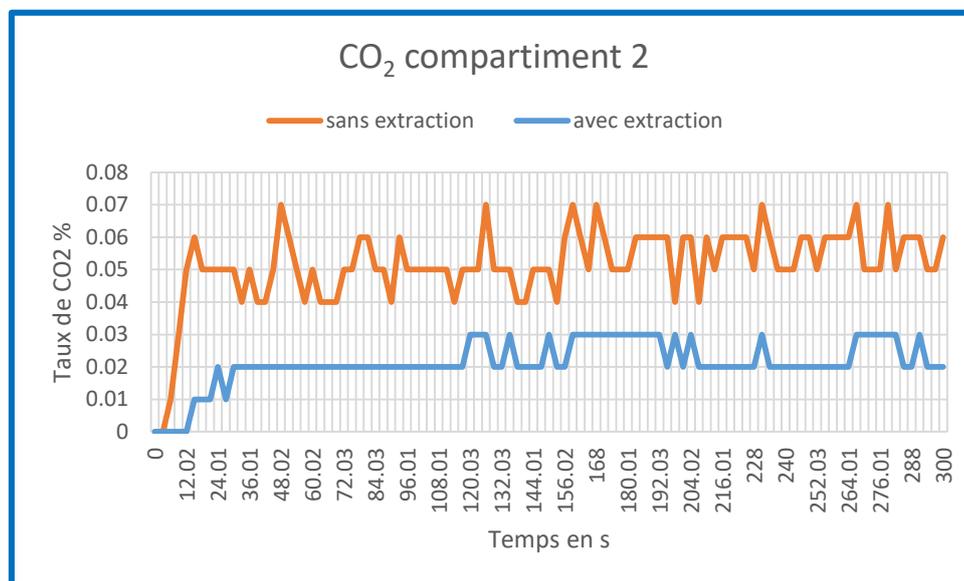


Figure 4.55 Résultats compartiment 2 du taux de CO₂

Les résultats de la simulation sans extraction qu'on a obtenue nous indiquent un taux maximum de 7% qui survienne plus fréquemment à partir de 126 s (environ 2min) on voit aussi une augmentation très rapide les premières secondes, quant aux résultats de la simulation avec l'extraction ne dépasse pas les 3% comme le montre le graphe cette valeur est atteinte sur un temps de 120s, le tableau ci-dessous représente ces résultats et leurs effets sur les individus :

Tableau 4.13 récapitulatif des résultats taux de CO₂ compartiment 2 et leurs effets

| Temps Sans extraction | Temps Avec extraction | Taux de CO ₂ % | Effet selon les études |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------|---|
| 6.02s | 30.01s | 2% | Respiration plus profonde jusqu'à 50 % plus rapide Maux de tête et des signes de fatigue |
| 9.02 | 120s | 3% | La respiration devient difficile Accélération du rythme cardiaque Diminution de l'acuité auditive |
| 33.2s | — | De 4 à 5% | symptômes déjà mentionnés s'ajoutent après une trentaine de minutes un sentiment étourdissement |
| 72.03s | — | De 5 à 10% | La vue se brouille et les oreilles sonnent. La capacité de jugement est diminuée. La perte de conscience peut intervenir en l'espace de quelques minutes. |

- *Compartment 3 :*

La figure suivante représenté le graphe des résultats du taux d'oxygène dans le compartiment 3 les deux courbes décrivent la diminution du taux d'oxygène avec et sans système d'extraction de fumée :

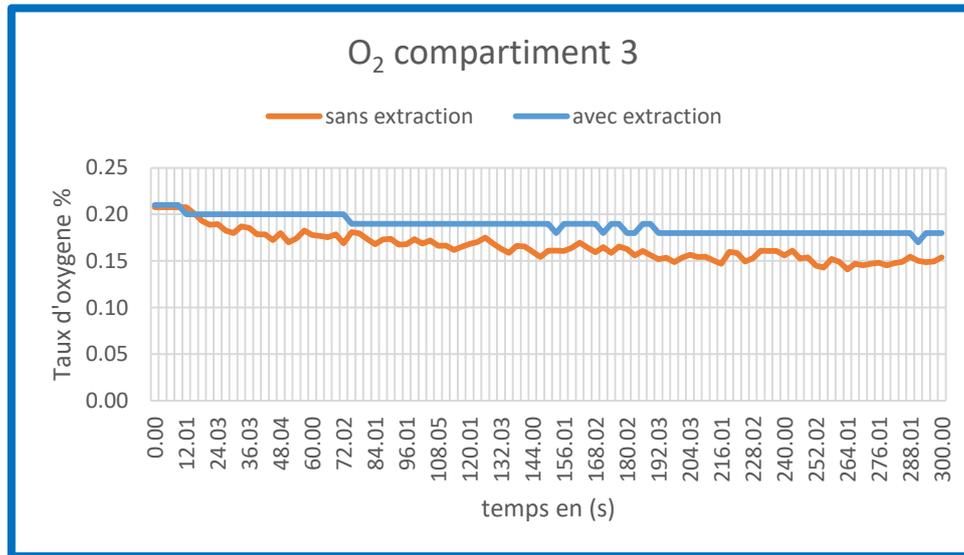


Figure 4.56 résultats de taux d'O₂ compartiment 3

D'après la courbe (sans extraction) le taux d'oxygène dans le compartiment 3 diminue jusqu'à atteindre 14% à 252s (4min20s), le seuil critique qui est de 17% et atteint après les 72.02s. Dans la courbe (avec extraction) le taux d'oxygène est plus au moins stable sur différente plage du temps, la valeur minimale qu'elle peut atteindre est de 18% c'est-à-dire au-dessus du seuil critique, ce qui veut dire qu'il n'aura pas d'effet sur les personnes qui se trouve dans le compartiment. Le tableau ci-dessous reprend les valeurs critiques du manque d'oxygène dans le compartiment sans extraction et leurs effets :

Tableau 4.14 récapitulatif des résultats taux d'O₂ compartiment 3 et leurs effets

| Temps Sans extraction | Taux d'oxygène | Effet selon les études |
|-----------------------|----------------|--|
| 72.02s | 17% | Baisse de la vision, Accroissement de la quantité d'air inspiré Accélération du rythme cardiaque |
| 114.03s | 16% | Vertiges |
| 147s | 15% | Perte du contrôle de la motricité Troubles du jugement et de l'attention |
| - | 12% | Perte de conscience Lésions cérébrales irréversibles |
| - | 10% | Perte de conscience Nausées Vomissements |

La figure suivante représente le taux de CO₂ dans le compartiment 3, les résultats obtenus sont définis sur les deux courbes (sans et avec extraction) :

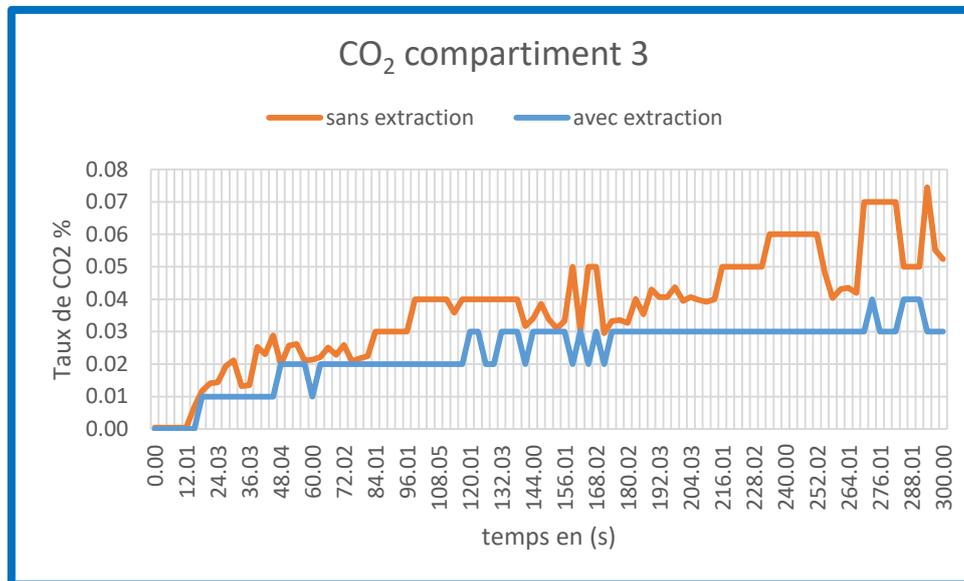


Figure 4.57 résultats compartiment 3 du taux de CO₂

On remarque dans le graphe que la courbe (sans extraction) s'élève à des taux critique plus haut que celle (avec l'extraction), le taux maximal est de 7% atteint au bout de 270s. Quant à l'autre courbe le taux maximal est de 4% au bout de 273s (4min7s), on peut dire qu'il y a amélioration. Le tableau suivant est le récapitulatif des résultats obtenus au cours du temps et leurs effets sur les personnes :

Tableau 4.15 récapitulatif des résultats taux de CO₂ compartiment 3 et leurs effets

| Temps Sans extraction | Temps Avec extraction | Taux de CO ₂ % | Effet selon les études |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------|---|
| 27s | 48s | 2% | Respiration plus profonde jusqu'à 50 % plus rapide Maux de tête et des signes de fatigue |
| 42s | 132s | 3% | La respiration devient difficile Accélération du rythme cardiaque Diminution de l'acuité auditive |
| 99s | 285s | De 4 à 5% | Symptômes déjà mentionnés s'ajoutent après une trentaine de minutes un sentiment étourdissement |
| 216s | — | De 5 à 10% | La vue se brouille et les oreilles sonnent. La capacité de jugement est diminuée. La perte de conscience peut intervenir en l'espace de quelques minutes. |

4.6 Etude des chemins d'évacuation :

4.6.1 Disposition des capteurs de mesure de température :

Afin de connaître le chemins le plus sûr pour l'évacuation ou bien le chemins le plus adaptable pour l'empreinte lors d'un incendie nous avons disposé des capteurs de température sur différents chemins au tour de l'incendie, les figures suivantes nous montre cette disposition sur chaque compartiment du parking :

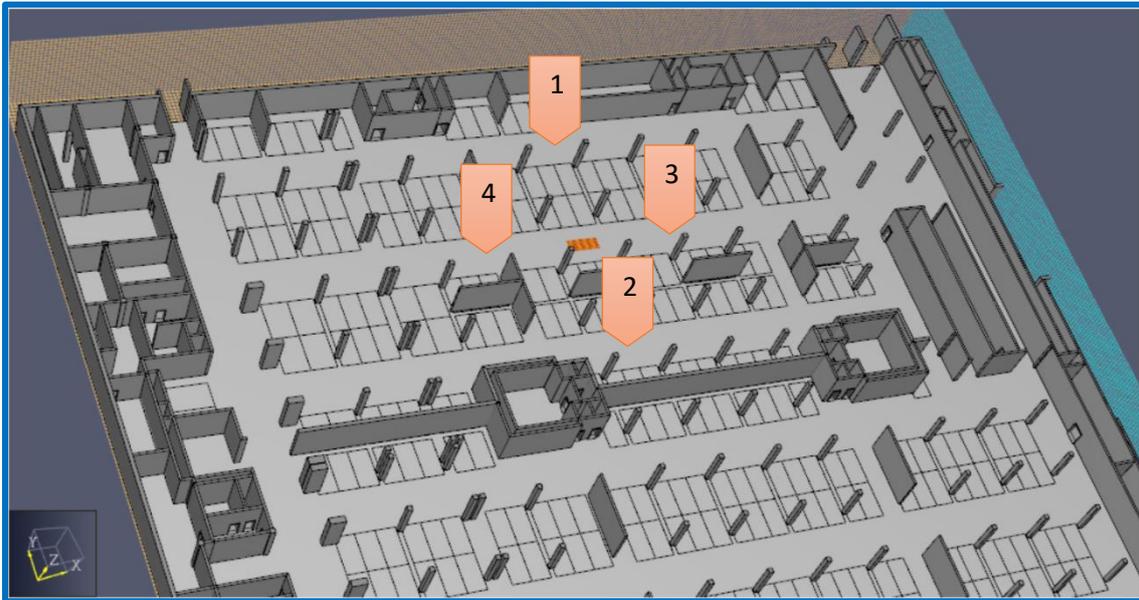


Figure 4.58 Capteur compartiment 1

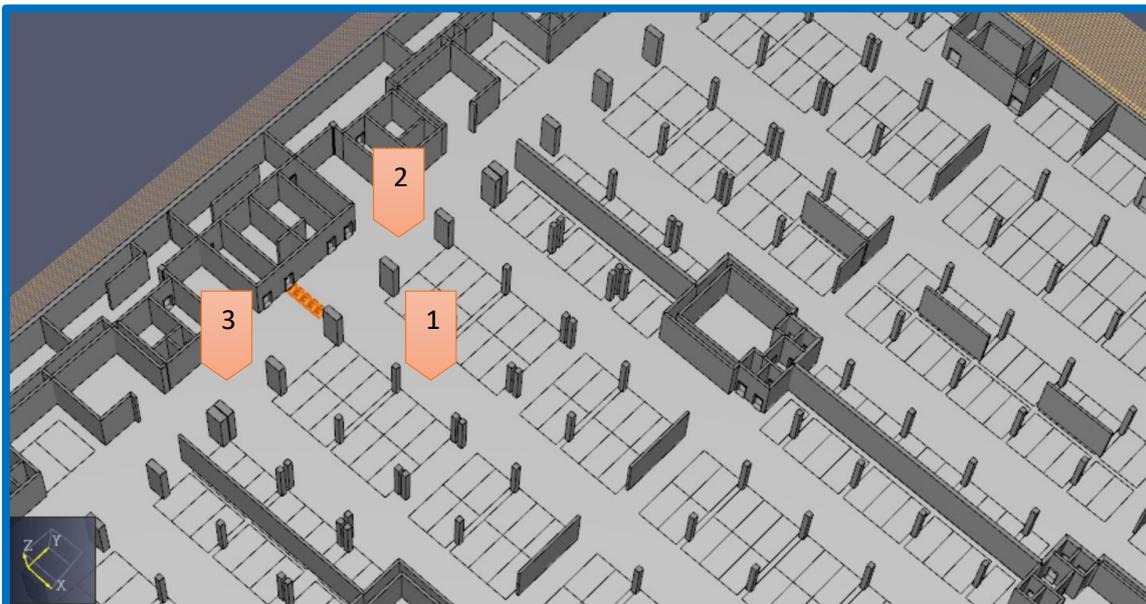


Figure 4.59 capteur compartiment 2

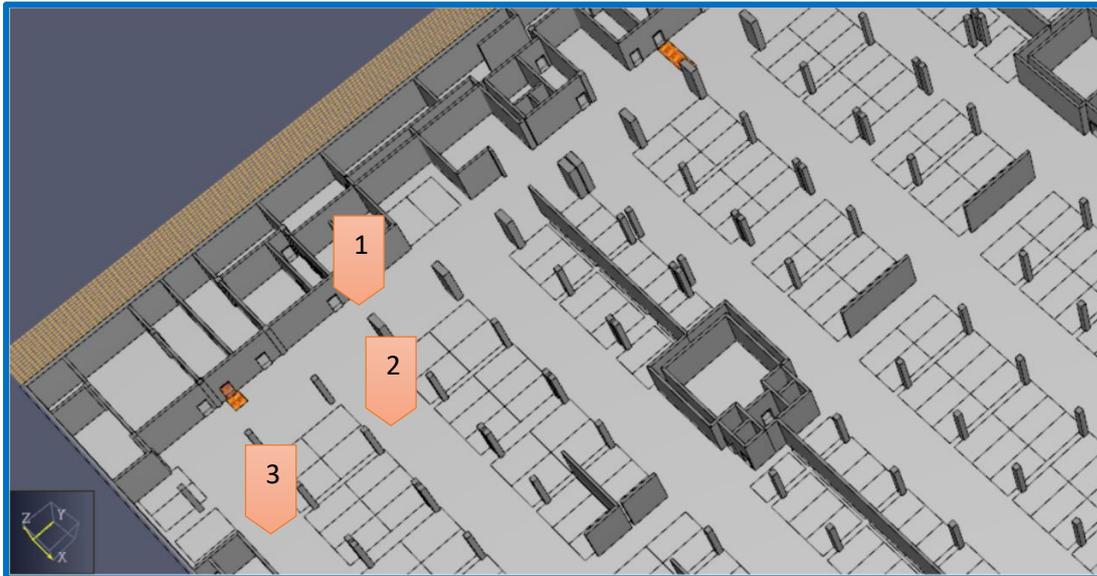


Figure 4.60 Capteur compartiment 3

Afin de mettre des capteurs sur FDS on utilise la commande &DEVC suivi par la quantité qu'on veut mesurée, la figure suivante représente la disposition des capteurs du compartiment 2 sur pyrosim :

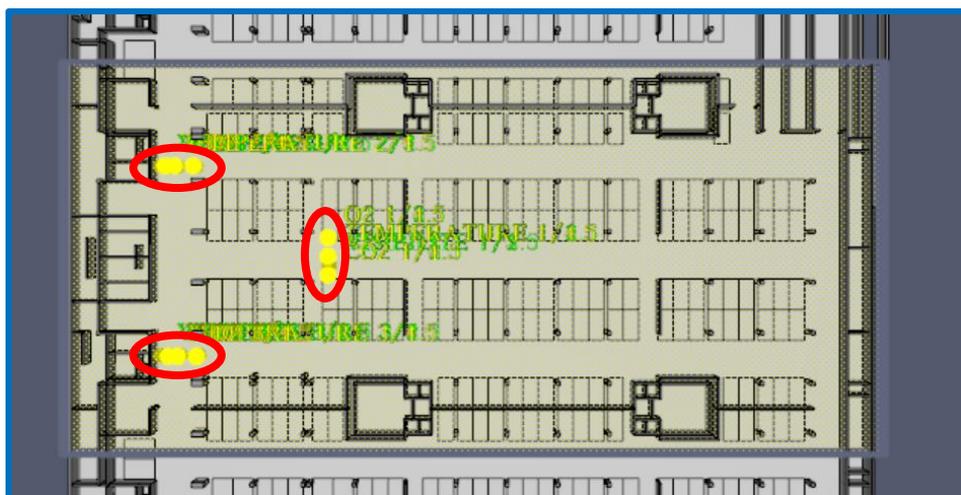


Figure 4.61 Disposition des capteurs du compartiment 2

4.6.2 Choix de chemin d'évacuation :

Le choix du chemine le plus adaptable lors de l'évacuation nous allons l'évaluer selon les degrés de température de chaque direction choisit selon la disposition des capteurs.

→ **Compartiment 1 :**

Dans le compartiment 1 comme l'incendie est au milieu du parking nous avons disposé 4 capteurs sur différents chemins de circulation des véhicules on note que le public peut traverser le parking librement, les résultats de la température de chaque capteur sont représentés le graphe ci-dessous :

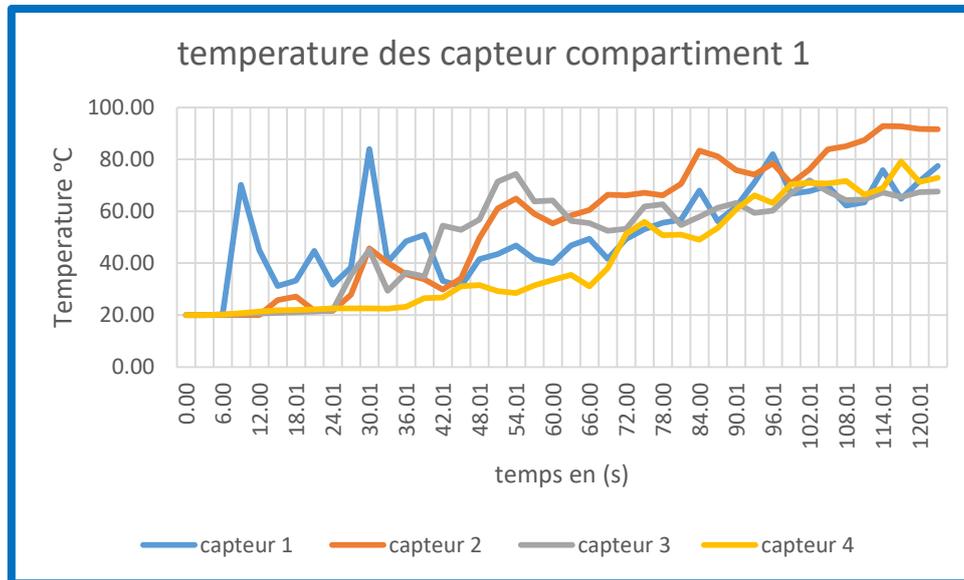


Figure 4.62 résultats de la température compartiment 1

Interprétation :

On remarque dans ce graphe que les températures ne sont pas similaires sur les 4 chemins choisis les valeurs du capteur 4 sont plus favorable par rapport aux autres capteurs, la température critique (66°C) du capteur 4 est atteinte au bout de 100s (1min40s), ce qui est largement suffisant si on suppose qu'une personne adulte et en bonne santé se déplace en marchant dans une atmosphère normale à une vitesse voisine de 1m/s. Les différentes valeurs des capteurs sont définies dans le tableau suivant :

Tableau 4.16 résultats de la température compartiment 1

| Les capteurs | Temps d'attent de température (66°C) |
|--------------|--------------------------------------|
| Capteur 1 | 9,01s |
| Capteur 2 | 54s |
| Capteur 3 | 51s |
| Capteur4 | 100s |

Le chemin du capteur 4 est plus adéquat pour l'évacuation du public suivit par les chemins des capteurs 2 et 3 qui ont presque la même durée, on se qui concerne la zone du capteur 1 il est préférable de ne pas se dirigée vers elle.

Comme on a défini la zone optimale ou la température critique pour l'évacuation n'est atteint qu'à partir de 100s maintenant on va voir quel escalier est le plus adéquat pour l'évacuation dans ce scénario la figure suivant nous montre la distance entre chaque capteur et les sorties les plus proches :

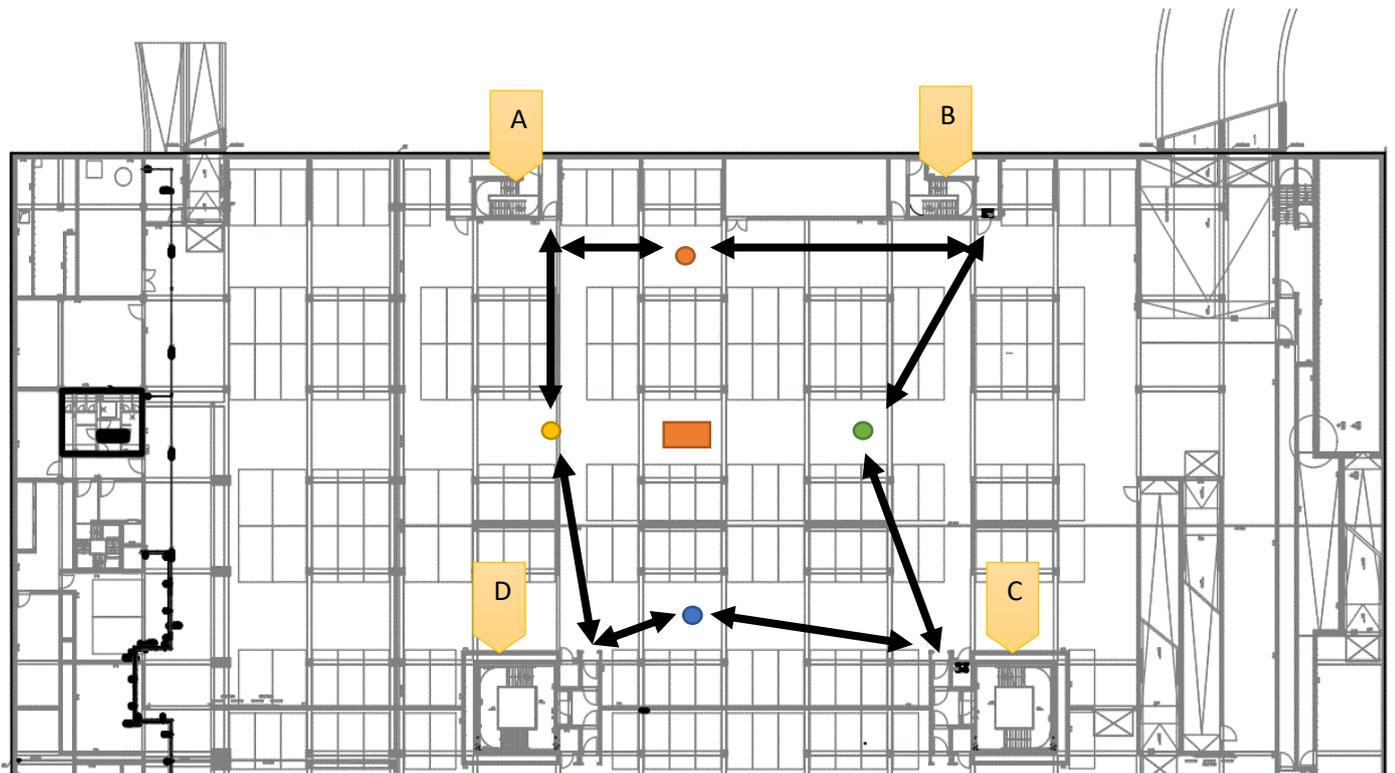


Figure 4.63 Distance entre les capteurs et les sorties les plus proches compartiment 1

La figure (4.63) nous indique les escaliers les plus proches entre les capteurs. Le capteur 4 qui est défini par un rond jaune à une distance de 18m avec l'escalier A et une distance de 21m avec l'escalier D et en tenant en compte des obstacles des parois coupe-feu dans le trajet entre l'escalier D et la zone du capteur 4 il est préférable que le public présent dans cette zone se dirige vers la sortie de l'escalier A.

En analysant le graphe du coefficient d'extinction dans chaque zone on remarque aussi que la zone où se trouve le capteur 4 a les valeurs la plus basse comme la montre la figure ci-dessous :

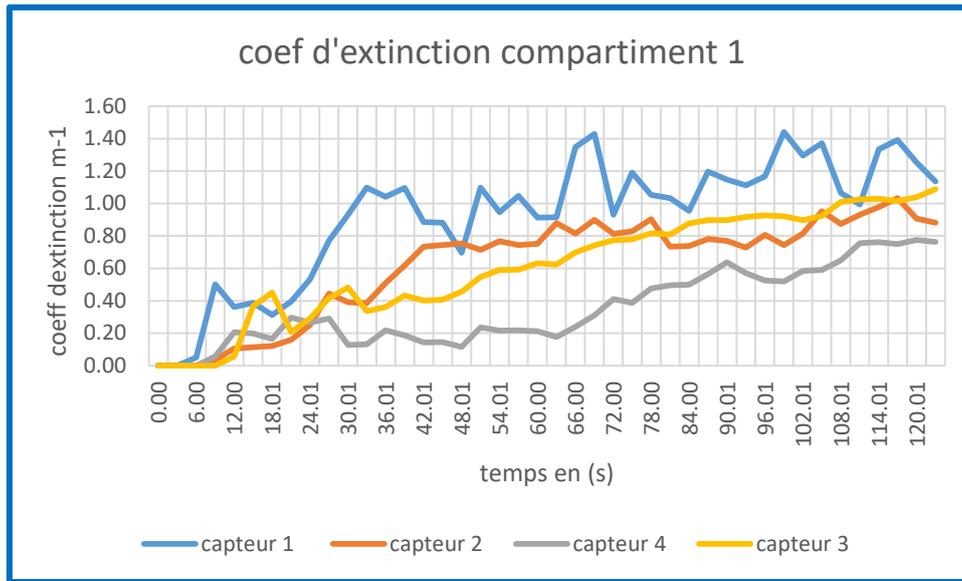


Figure 4.64 Coefficient d'extinction compartiment 1

Tableau 4.17 Coefficient d'extinction compartiment 1

| Les capteurs | Temps d'attient du coeff d'extinction Babrauskas 1,2 (m^{-1}) |
|--------------|---|
| Capteur 1 | 66s |
| Capteur 2 | - |
| Capteur 3 | - |
| Capteur 4 | - |

Interprétation :

D'après le graphe le capteur 1 atteint le seuil selon Babrauskas à 66s suivi par les capteurs 2 et 3 qui d'après la montée de leur courbe va atteindre la valeur dans les secondes qui suivent, et ensuite la courbe du capteur 4 qui monte progressivement et prend du temps avant d'atteindre le seuil critique.

De là on peut conclure que dans le scénario 1 que la zone la plus sûre est autour de capteur 4 et que le chemin d'évacuation le plus adéquat est celui qui se dirige vers l'escalier A.

→ *Compartiment 2 :*

Dans le scénario 2 l'incendie qui se trouve dans le compartiment 2 est située dans le local compresseur à air c'est-à-dire à l'extrême gauche du compartiment comme le montre la figure (4.65), nous avons disposé 3 capteurs sur les 3 voies de circulation de voiture afin de

connaître les directions les plus conforme pour l'évacuation, la figure ci-dessous représente la température indiquée par les 3 capteurs :

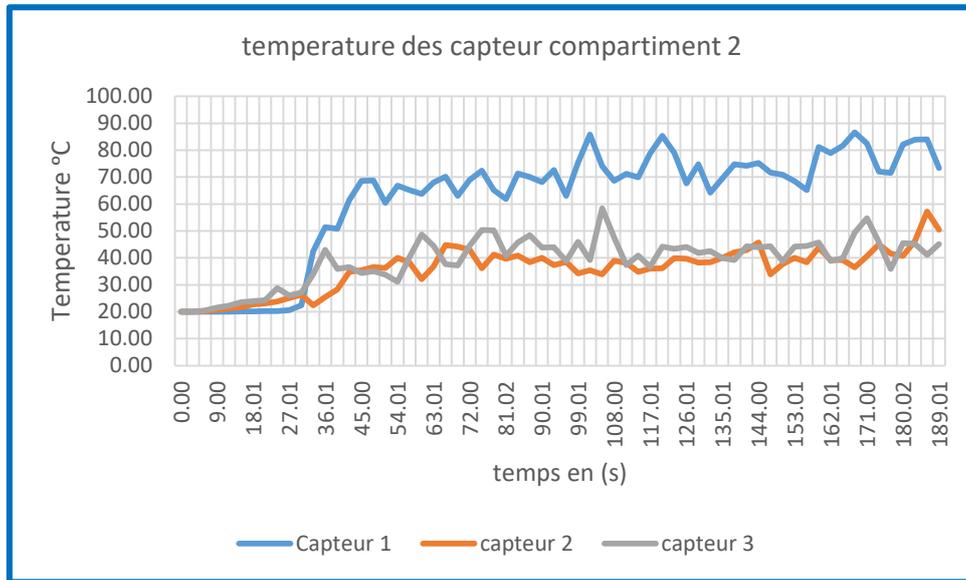


Figure 4.65 Résultats de la température compartiment 2

Interprétation :

A partir du graphe on déduit que le capteur 1 nous indique des températures plus élevées que les autres capteurs, le capteur 1 atteint la température critique de l'évacuation qui est de 66°C à 45s tandis que les capteurs 2 et 3 ne l'ont pas atteint même au bout de 180 s (3min)

Tableau 4.18 Résultats de la température compartiment 2

| Les capteurs | Temps d'attient de température (66°C) |
|--------------|---------------------------------------|
| Capteur 1 | 45s |
| Capteur 2 | - |
| Capteur 3 | - |

Dans ce scenario, il est préférable d'évacuer de façon latérale que d'emprunter le chemin droit perpendiculaire à zone où se trouve le feu, la figure suivante nous montre le chemin le plus adéquat pour l'évacuation et les distance entre l'escalier et les capteurs disposée autour de feu :

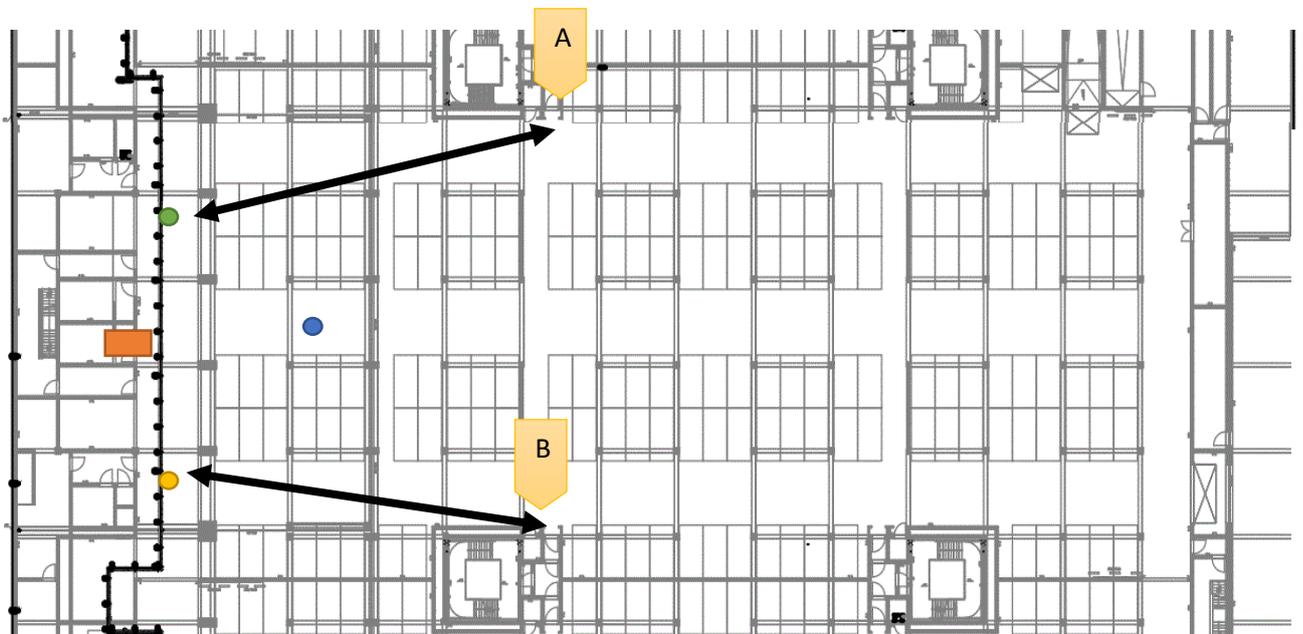


Figure 4.66 Distance entre les capteurs et les sorties les plus proches compartiment 2

D'après la figure (4.66) la distance entre la zone du capteur 2 qui est représenté avec un rond vert et la sortie la plus proche c'est-à-dire les escaliers A il y a une distance de 38m et comme la température de l'évacuation critique n'est pas atteinte au bout de 180s (3min) donc les personnes présentes dans la zone du capteur 2 peuvent évacuer de la manière la plus sûre que possible, même chose que pour le capteur 3 qui est représenté dans la figure (4.66) par un rond jaune

Ce qui faut évitée dans ce cas, c'est de se dirigée vers la zone du capteur 1 car c'est là où se trouve une grande quantité de fumée (la zone du capteur 1 est la zone critique)

On se qui concerne le coefficient d'extinction dans les trois zones, ils sont représentés dans la figure ci-dessous :

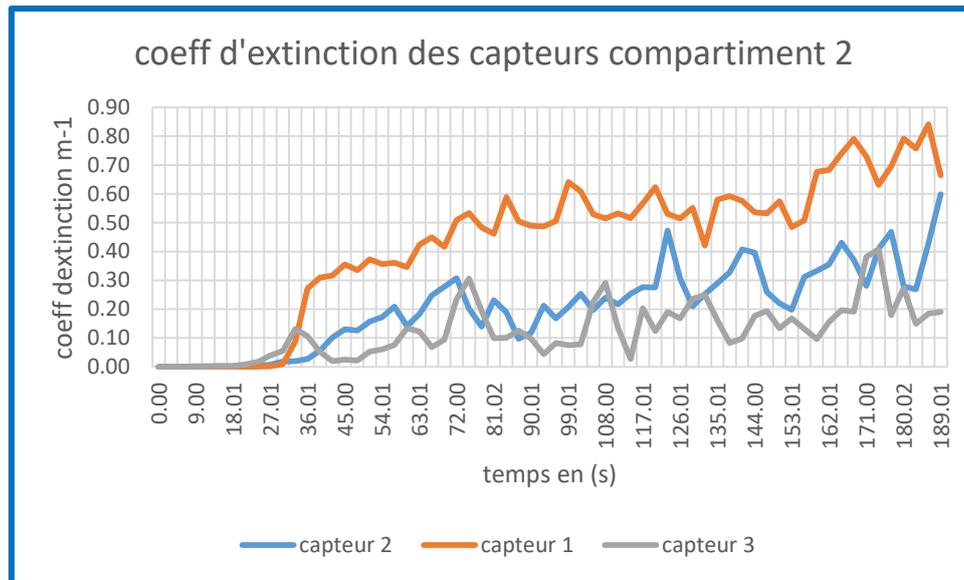


Figure 4.67 Coefficient d'extinction des capteurs compartiment 2

Interprétation :

On remarque que la courbe du capteur 1 est plus élevée que les autres capteurs ce qui confirme notre interprétation du graphe de température, c'est-à-dire que la zone où se trouve le capteur 1 est la première à atteindre les seuils critiques pour l'évacuation sur le temps imparti c'est-à-dire 189s (environ 3min)

Ce qu'on peut dire à travers notre analyse comme le comportement de la fumée a tendance à se propager en grande quantité vers le milieu du parking c'est-à-dire dans la direction de capteur1 il est préférable pour les publics de s'échapper en empruntent les directions latérales c'est-à-dire vers les capteurs 2 et 3 pour les escaliers A et B

→ *Compartiment 3 :*

Dans le compartiment 3 l'origine de l'incendie se situe au niveau du local électrique ou se situe le groupe électrogène c'est-à-dire en bas à l'extrême gauche comme le montre la figure (4.70), on a disposée trois capteur sur les trois directions de circulation qui sont les plus proche du local électrique, la figure suivante représente les résultats obtenus par les trois capteurs :

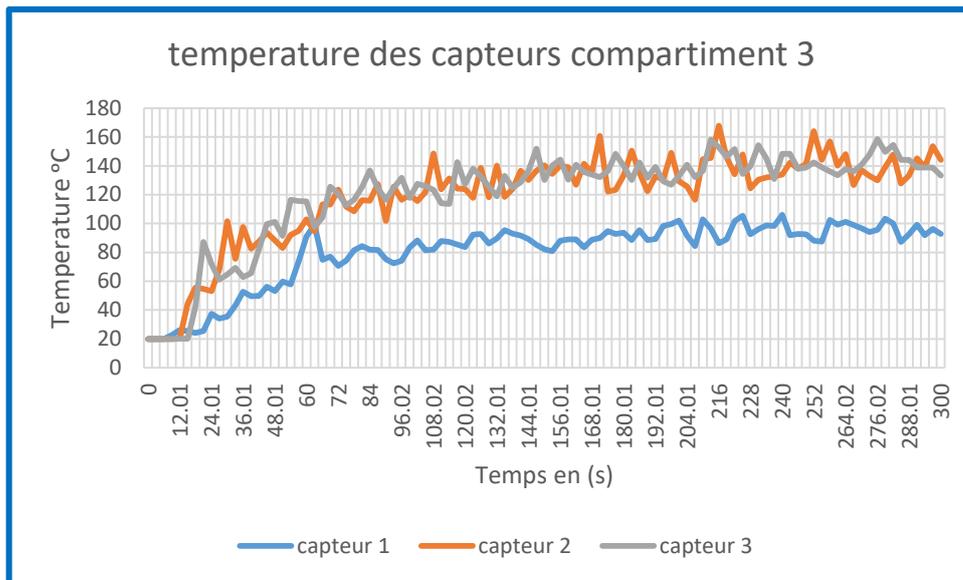


Figure 4.68 Résultats de la température du compartiment 3

Interprétation :

Sur la figure du graphe de température on remarque le capteur 1 nous indique des valeurs plus basses que celle des autres capteurs qui ont presque la même allure, la courbe du capteur 1 atteint la température critique pour l'évacuation (66°C) au bout de 55s (presque 1min), le tableau ci-dessous est un récapitulatif des résultats obtenus pour les trois capteurs :

Tableau 4.18 Résultats de la température du compartiment 3

| Les capteurs | Temps d'attient de température (66°C) |
|--------------|---------------------------------------|
| Capteur 1 | 55s |
| Capteur 2 | 30s |
| Capteur 3 | 24s |

De là on peut dire maintenant que pour évacuer le public il est préférable d'emprunter la direction du capteur deux mais avant nous allons analyser l'opacité de la fumée sur les trois capteurs afin de déduire le chemin le plus adaptable à l'évacuation. Le graphe ci-dessous représente les résultats des capteurs de coefficient d'extinction :

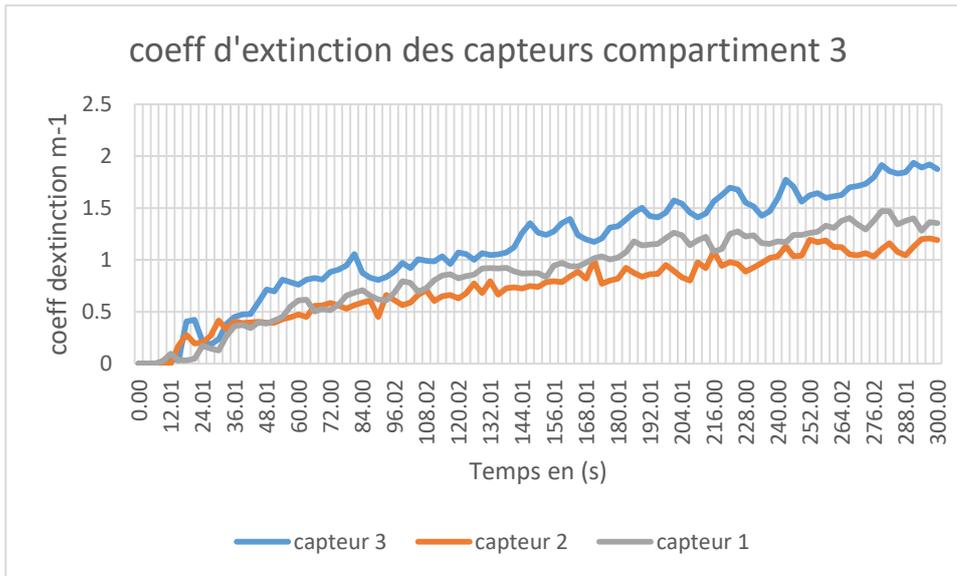


Figure 4.69 coefficient d'extinction des capteurs du compartiment 3

Interprétation :

De ce graphe on voit que les capteurs nous indiquent des résultats différents, la zone du capteur 3 est la première à être touchée par l'opacité de la fumée suivie par le capteur 1 et le capteur 2. Sauf qu'ici contrairement aux résultats obtenus par les capteurs de température là on voit que la zone du capteur 2 est la dernière à atteindre le seuil limite de l'opacité selon Babrauskas 1,2 (m^{-1}) qui est atteint au bout de 250s (4min10s) ce qui est largement suffisant pour l'évacuation du public, le tableau ci-dessous est un récapitulatif des résultats obtenus pour les capteurs du coefficient d'extinction :

Tableau 4.19 coefficient d'extinction des capteurs du compartiment 3

| Les capteurs | Temps d'attente du coeff d'extinction Babrauskas 1,2 (m^{-1}) |
|--------------|---|
| Capteur 1 | 225s |
| Capteur 2 | 250s |
| Capteur 3 | 144s |

De là on peut conclure que l'évacuation du public doit être entre le chemin du capteur 2 et du capteur 1 afin d'atteindre la sortie la plus proche qui est l'escalier A comme le montre la figure suivante :

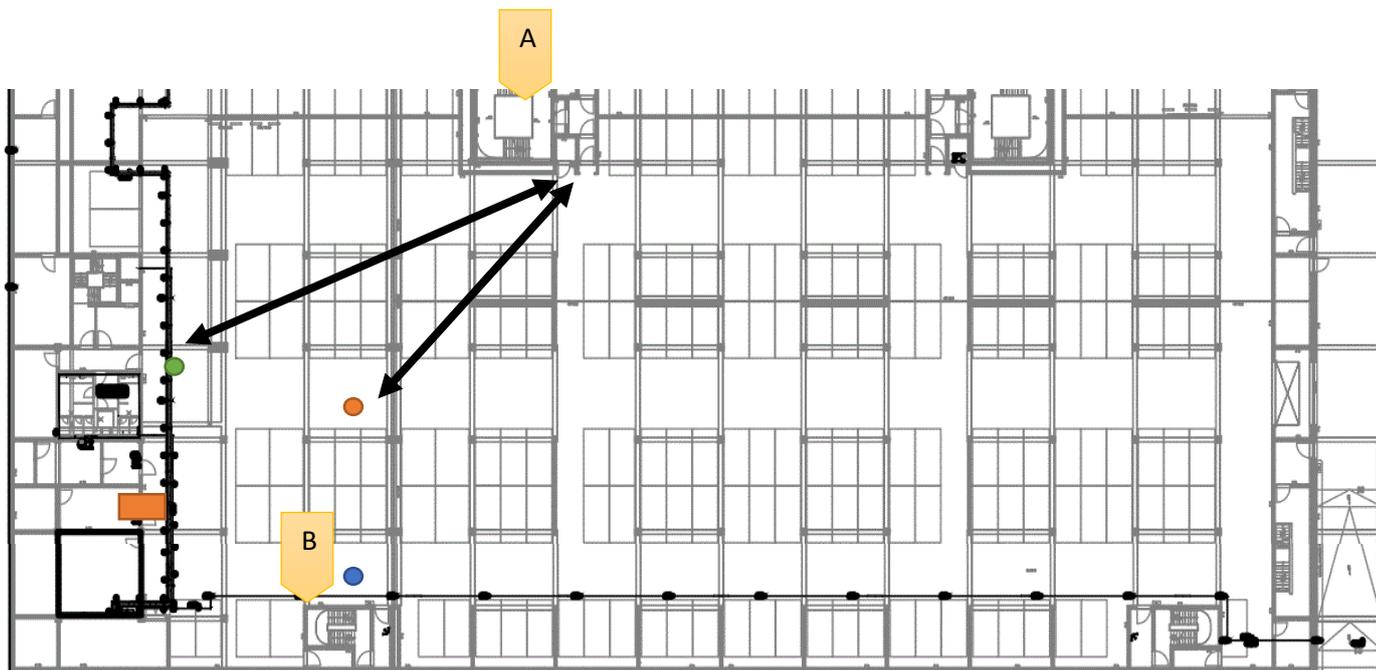


Figure 4.70 Distance entre les capteurs et les sorties les plus proches compartiment 3

La distance entre le capteur 2 qui est représenté par un rond orange et la sortie A il y a 27m tandis que la distance entre le capteur 1 et la sortie A il y a 40m donc la zone qui se trouve entre les deux capteurs est le chemin qui permet l'évacuation la plus sûre que celui de la sortie B car elle sera plus visible au bout de 144s (2min24s) et la température critique est atteinte au bout de 24s. Mais néanmoins elle peut servir de sorties pour les personnes qui se trouvent les plus proches de cette sortie.

Conclusion

D'après les résultats de la modélisation des scénarios de chaque compartiment, nous remarquons l'efficacité du système de désenfumage implanté dans l'extraction d'une quantité importante de fumée, ce qui implique une diminution de l'opacité de fumée et donc l'augmentation de la visibilité ainsi que la diminution de la température atteinte et du taux de CO₂, aussi l'augmentation du taux d'oxygène.

Les résultats du compartiment 2 sont plus au moins satisfaisants comparés à ceux des autres compartiments, ce qui nous mène à dire que le dimensionnement de ce dernier est plus efficace.

Aussi ce qu'on peut dire c'est que grâce à notre système nous avons pu déterminer les chemins les plus sûrs pour chaque compartiment afin de permettre une évacuation plus organisée et plus adaptable aux publics c'est-à-dire les personnes à tout âge.

Conclusion générale

Dans le cadre de la maîtrise des risques et la diminution des impacts des accidents majeurs, le travail objet de cette étude était l'identification et l'évaluation des risques qu'un parking souterrain peut engendrer (étude du cas « Parking Grande Mosquée ») ainsi que la proposition de solutions adéquates, efficaces et applicables pour la réduction de ses conséquences et enfin démontrer l'efficacité de la solution proposée à l'aide des outils de modélisation et de simulation numérique.

Une identification profonde des facteurs de risques intrinsèques et extrinsèques a été réalisée pour passer à une évaluation semi-quantitative, à l'aide de la méthode « APR ». Cette dernière nous a permis de cerner le problème, de le traduire en un scénario réaliste, à l'aide du logiciel « Bowtie XP » en justifiant ainsi le choix de s'approfondir sur l'incendie comme étant le phénomène dangereux le plus persistant. En outre, cela nous a permis de trouver une solution aux fumées, phénomène dangereux le plus fréquent et ayant les conséquences les plus désastreuses et le générer comme étant la conséquence ayant le plus d'effets et d'impacts sur le public. Nous avons jugé que la mise en place d'un système de désenfumage est primordiale au niveau du parking de la grande mosquée.

Pour cela nous avons réalisé une étude détaillée du dimensionnement des gaines de désenfumage, sur trois compartiments du Parking adaptés à trois scénarios différents, selon la source d'incendie. A partir de ce dimensionnement, nous avons obtenus les débits nécessaires au désenfumage pour pouvoir, par la suite, mettre en place les grilles adéquates à chaque conduit et cela en tenant compte des obstacles physiques liés à la structure complexe du parking, à l'aide du Logiciel AUTOFLUID.

Pour démontrer l'efficacité de notre système, nous avons eu recours au Logiciel FDS. Ce dernier nous a permis de réaliser une modélisation des différentes structures du parking ainsi que notre système d'extraction et donc d'effectuer une simulation numérique du phénomène d'incendie afin de pouvoir, par la suite, visualiser le comportement de la fumée et de ses paramètres.

Sur la base des slices obtenus, nous avons pu faire une comparaison visuelle de l'évolution de chaque paramètre de la fumée sans et avec extraction.

Les résultats obtenus ont été définis sous forme de graphes afin de permettre une meilleure présentation des résultats et de faciliter leur interprétation. En effet, nous avons constaté l'amélioration des conditions d'évacuation du public que notre système peut apporter.

À travers notre étude, nous avons pu apporter une amélioration considérable de la sécurité du public au niveau du parking et de résoudre un problème primordial qui persiste depuis la construction de la Grande Mosquée.

Notre travail sera la base de plusieurs études par la suite, notamment l'extension du système vers les autres parties du parking, ainsi que l'étude technico -économique et le plan de sureté interne de l'établissement ERP.

Références bibliographiques

- [1] : Cabinet CASSO et Cie, « Sécurité contre l'incendie dans les ERP », Techniques de l'ingénieur, traité C 3280v2, 2008
- [2] : E. HUDON, « Combustion, propagation et effets. » SERVICE DEPARTEMENTAL D'INCENDIE ET DE SECOURS DU PUY-DE-DÔME, 2019
- [3] : C. Martel, « VENTILATION ET SECURITE INCENDIE D'UNE ZONE EXPERIMENTALE », CERN-ST-2000-055, févr. 2000.
- [4] : Ministre d'Etat, ministre de l'intérieur et de la décentralisation et le ministre d'Etat, ministre des transports, "Règles de sécurité applicables aux gares (G A), Arrêté du 20 février 1983", Journal officiel - NC du 23 avril 1983.
- [5] : B. Debray, N. Gobeau, F. Waymel, rapport d'étude « Incendie en milieu confiné », INERIS, 2007.
- [6] : I. GUEROUI, « Etude Numérique du Désenfumage d'une Station de Métro : Application à un Feu dans la Mezzanine », ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE, Alger, 2015.
- [7] : Bjöm Karlsson, James G. Quintiere, "Enclosure Fire Dynamics", CRC Press LLC, 2000.
- [8] : K. Lambert, « Backdraft : La science et la lutte contre le feu, une revue littéraire », p. 43.
- [9] : H. Pretrel, « Contribution à l'étude de la dynamique des incendies en milieu confiné et mécaniquement ventilé », HDR. 2018.
- [10] : A. OUAREM « étude sur maquette de la propagation des fumées d'incendie d'un locale « source » vers un locale « cible » ventilé mécaniquement », ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE, Alger, 2005
- [11] : R. Josian, « Le mouvement des fumées », M. Science Chimie Journal, Janvier 2007
- [12] : R. CADIERGUES, « Effets de l'air extérieur sur le bâti », XPair, 2012
- [13] : K. B. McGrattan et G. P. Forney, « Fire dynamics simulator (version 6) : user's guide », National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, NIST SP 1019, 2019.
- [14] : Projet National de recherche et développement INGENIERIE DE LA SECURITE INCENDIE, Éd., « Effets du feu sur les personnes », oct. 2012.
- [15] : Projet National de recherche et développement INGENIERIE DE LA SECURITE INCENDIE, Éd., « Effets du feu sur les personnes », p. 163, oct. 2012.
- [16] : Budnick E.K., Klein D.P. and O'Laughlin R.J., "Mobile Home bedroom Fire Studies: The role of Interior Finish", National bureau of standards Interim report (NBSIR), Septembre 1978
- [17] : "Naval ships technical manual (NSTM) Chap.555 – Volume 1, Surface ship firefighting" S9086-S3-STM-010/CH-55V1
- [18] : Carbagas entreprise du groupe AIR LIQUIDE, « Effets physicoCO2 », SM 08f - 9.2005

Annexe

Annexe 1 : résultats de la simulation sans système d'extraction

| Compartiment 1 sans extraction | | | | |
|--------------------------------|-------------|----------------|-----------------|-------------|
| Time | TEMPERATURE | O ₂ | CO ₂ | Coeff extin |
| 0 | 20 | 0.21 | 0 | 0.00 |
| 3.02 | 20 | 0.21 | 0 | 0.00 |
| 6 | 20 | 0.2 | 0 | 0.00 |
| 9.02 | 20.01 | 0.19 | 0.01 | 0.00 |
| 12.03 | 20.02 | 0.16 | 0.04 | 0.00 |
| 15.03 | 26.78 | 0.17 | 0.04 | 0.06 |
| 18 | 71.12 | 0.16 | 0.04 | 0.49 |
| 21.01 | 73.77 | 0.17 | 0.04 | 0.47 |
| 24.01 | 103 | 0.17 | 0.04 | 0.88 |
| 27 | 101.49 | 0.17 | 0.04 | 0.77 |
| 30.02 | 93.21 | 0.18 | 0.04 | 0.68 |
| 33.01 | 109.91 | 0.18 | 0.04 | 0.74 |
| 36.01 | 103.73 | 0.17 | 0.04 | 0.77 |
| 39.01 | 106.52 | 0.16 | 0.04 | 0.97 |
| 42.03 | 106.89 | 0.17 | 0.04 | 1.11 |
| 45.02 | 100.52 | 0.17 | 0.04 | 1.15 |
| 48.01 | 107.39 | 0.18 | 0.04 | 1.14 |
| 51.01 | 108.26 | 0.16 | 0.04 | 1.10 |
| 54.01 | 119.12 | 0.17 | 0.04 | 1.17 |
| 57 | 130.18 | 0.17 | 0.03 | 1.29 |
| 60.03 | 133.36 | 0.15 | 0.04 | 1.16 |
| 63.01 | 132 | 0.16 | 0.04 | 1.28 |
| 66.03 | 129.68 | 0.16 | 0.04 | 1.19 |
| 69.02 | 128.6 | 0.16 | 0.04 | 1.26 |
| 72.01 | 133.7 | 0.15 | 0.05 | 1.41 |

| | | | | |
|--------|--------|------|------|------|
| 75 | 130.1 | 0.16 | 0.04 | 1.39 |
| 78.02 | 124.51 | 0.14 | 0.04 | 1.45 |
| 81.01 | 128.48 | 0.16 | 0.04 | 1.49 |
| 84.01 | 151.09 | 0.16 | 0.04 | 1.52 |
| 87.02 | 151.75 | 0.16 | 0.04 | 1.62 |
| 90.02 | 141.23 | 0.16 | 0.04 | 1.55 |
| 93.01 | 129.6 | 0.17 | 0.04 | 1.71 |
| 96 | 125.75 | 0.15 | 0.04 | 1.69 |
| 99.02 | 125.75 | 0.17 | 0.04 | 1.75 |
| 102.02 | 152.58 | 0.17 | 0.05 | 1.72 |
| 105.02 | 147.94 | 0.16 | 0.04 | 1.61 |
| 108.03 | 148.34 | 0.17 | 0.04 | 1.73 |
| 111.01 | 153.55 | 0.16 | 0.04 | 1.91 |
| 114 | 148.84 | 0.16 | 0.04 | 1.91 |
| 117.01 | 157.66 | 0.15 | 0.04 | 2.16 |
| 120.02 | 170.15 | 0.17 | 0.04 | 1.90 |
| 123.01 | 160.51 | 0.15 | 0.04 | 1.65 |
| 126.01 | 157.88 | 0.16 | 0.04 | |
| 129 | 156.58 | 0.15 | 0.05 | |
| 132.03 | 161.48 | 0.14 | 0.05 | |
| 135 | 158.83 | 0.15 | 0.05 | |
| 138.01 | 155.13 | 0.17 | 0.04 | |
| 141.02 | 162.36 | 0.15 | 0.04 | |
| 144 | 167.83 | 0.16 | 0.04 | |
| 147.03 | 164.37 | 0.14 | 0.05 | |
| 150.01 | 164.61 | 0.15 | 0.04 | |
| 153.02 | 158.87 | 0.15 | 0.04 | |
| 156.01 | 164.5 | 0.16 | 0.04 | |
| 159.02 | 160.18 | 0.16 | 0.04 | |
| 162.01 | 170.51 | 0.16 | 0.04 | |

| | | | | |
|--------|--------|------|------|--|
| 165 | 163.19 | 0.16 | 0.04 | |
| 168.01 | 171.16 | 0.15 | 0.04 | |
| 171.01 | 169.36 | 0.15 | 0.05 | |
| 174.02 | 169.65 | 0.15 | 0.04 | |
| 177.02 | 175.14 | 0.16 | 0.04 | |
| 180.01 | 174.36 | 0.16 | 0.03 | |
| 183.03 | 147.95 | 0.14 | 0.05 | |
| 186.01 | 161.8 | 0.14 | 0.05 | |
| 189.01 | 146.03 | 0.15 | 0.05 | |
| 192.02 | 147.89 | 0.14 | 0.06 | |
| 195.01 | 175.68 | 0.14 | 0.06 | |
| 198.01 | 186.75 | 0.14 | 0.05 | |
| 201.03 | 178.93 | 0.13 | 0.07 | |
| 204.01 | 184.14 | 0.14 | 0.06 | |
| 207.01 | 176.63 | 0.14 | 0.05 | |
| 210.03 | 176.07 | 0.14 | 0.05 | |
| 213.01 | 178.3 | 0.14 | 0.05 | |
| 216.02 | 182.09 | 0.15 | 0.05 | |
| 219.02 | 196.45 | 0.15 | 0.05 | |
| 222.01 | 200.72 | 0.14 | 0.06 | |
| 225 | 196.95 | 0.14 | 0.05 | |
| 228.02 | 208.37 | 0.14 | 0.06 | |
| 231.02 | 194.08 | 0.14 | 0.05 | |
| 234.01 | 185.47 | 0.15 | 0.06 | |
| 237.03 | 197.27 | 0.13 | 0.06 | |
| 240 | 204.73 | 0.13 | 0.06 | |
| 243.03 | 200.19 | 0.13 | 0.08 | |
| 246.03 | 199.43 | 0.12 | 0.08 | |
| 249.01 | 206.11 | 0.13 | 0.06 | |
| 252.01 | 204.44 | 0.12 | 0.07 | |

| | | | | |
|--------|--------|------|------|--|
| 255.03 | 222.97 | 0.13 | 0.07 | |
| 258.02 | 215.44 | 0.13 | 0.07 | |
| 261.03 | 208.41 | 0.12 | 0.07 | |
| 264.02 | 214.84 | 0.13 | 0.06 | |
| 267.03 | 209.73 | 0.13 | 0.06 | |
| 270.02 | 221.63 | 0.14 | 0.06 | |
| 273 | 210.17 | 0.1 | 0.08 | |
| 276.01 | 210.77 | 0.11 | 0.08 | |
| 279.02 | 214.09 | 0.13 | 0.06 | |
| 282.01 | 211.31 | 0.12 | 0.07 | |
| 285 | 210.49 | 0.14 | 0.06 | |
| 288.01 | 208.25 | 0.13 | 0.05 | |
| 291 | 207.71 | 0.13 | 0.06 | |
| 294.01 | 199.6 | 0.1 | 0.05 | |
| 297.02 | 203.13 | 0.11 | 0.07 | |
| 300 | 200.51 | 0.12 | 0.05 | |

| |
|--|
| |
|--|

Compartment 2 sans extraction

| Time | TEMPERATURE | CO ₂ | O ₂ | Coeff extin |
|-------|-------------|-----------------|----------------|-------------|
| 0 | 20 | 0 | 0.21 | 0.00 |
| 3 | 20 | 0 | 0.21 | 0.00 |
| 6.02 | 20.02 | 0.01 | 0.2 | 0.00 |
| 9.02 | 20.04 | 0.03 | 0.17 | 0.00 |
| 12.02 | 37.58 | 0.05 | 0.17 | 0.05 |
| 15.01 | 96.72 | 0.06 | 0.16 | 0.70 |
| 18.01 | 149.65 | 0.05 | 0.16 | 0.89 |
| 21.01 | 119.19 | 0.05 | 0.15 | 0.80 |
| 24.01 | 171.09 | 0.05 | 0.15 | 1.21 |
| 27.02 | 162.8 | 0.05 | 0.16 | 1.03 |
| 30.02 | 151.76 | 0.05 | 0.13 | 1.16 |

| | | | | |
|--------|--------|------|------|------|
| 33.02 | 158.07 | 0.04 | 0.16 | 0.91 |
| 36.01 | 163.1 | 0.05 | 0.16 | 0.99 |
| 39.01 | 165.35 | 0.04 | 0.15 | 0.98 |
| 42.03 | 153.23 | 0.04 | 0.16 | 1.00 |
| 45 | 168.78 | 0.05 | 0.15 | 1.05 |
| 48.02 | 163.93 | 0.07 | 0.13 | 0.94 |
| 51.02 | 147.56 | 0.06 | 0.15 | 0.86 |
| 54.02 | 152.84 | 0.05 | 0.17 | 0.91 |
| 57 | 153.43 | 0.04 | 0.17 | 0.96 |
| 60.02 | 156.57 | 0.05 | 0.16 | 1.00 |
| 63.02 | 152.37 | 0.04 | 0.17 | 0.86 |
| 66 | 156.67 | 0.04 | 0.17 | 0.94 |
| 69.02 | 177.19 | 0.04 | 0.16 | 1.09 |
| 72.03 | 174.55 | 0.05 | 0.15 | 1.08 |
| 75.02 | 184.46 | 0.05 | 0.16 | 1.03 |
| 78.01 | 157.78 | 0.06 | 0.16 | 0.98 |
| 81 | 160.68 | 0.06 | 0.14 | 1.09 |
| 84.03 | 151.41 | 0.05 | 0.15 | 0.96 |
| 87 | 152.56 | 0.05 | 0.16 | 0.99 |
| 90.03 | 163.96 | 0.04 | 0.15 | 1.00 |
| 93.02 | 158.18 | 0.06 | 0.16 | 1.09 |
| 96.01 | 173.29 | 0.05 | 0.15 | 1.23 |
| 99.01 | 164.08 | 0.05 | 0.14 | 1.20 |
| 102 | 158.84 | 0.05 | 0.14 | 1.29 |
| 105 | 165.84 | 0.05 | 0.16 | 1.29 |
| 108.01 | 178.02 | 0.05 | 0.13 | 1.48 |
| 111.03 | 177.45 | 0.05 | 0.16 | 1.31 |
| 114.01 | 162.45 | 0.04 | 0.17 | 1.33 |
| 117.03 | 171.95 | 0.05 | 0.17 | 1.29 |
| 120.03 | 183.58 | 0.05 | 0.16 | 1.48 |

| | | | | |
|--------|--------|------|------|------|
| 123.01 | 183.32 | 0.05 | 0.16 | 1.35 |
| 126.01 | 174.69 | 0.07 | 0.15 | 1.33 |
| 129.03 | 175.21 | 0.05 | 0.16 | 1.22 |
| 132.03 | 166.26 | 0.05 | 0.13 | 1.41 |
| 135.02 | 167.55 | 0.05 | 0.17 | 1.44 |
| 138.01 | 171.27 | 0.04 | 0.17 | 1.46 |
| 141.01 | 166.61 | 0.04 | 0.16 | 1.43 |
| 144.01 | 199.69 | 0.05 | 0.14 | 1.48 |
| 147.01 | 178.71 | 0.05 | 0.14 | 1.36 |
| 150.02 | 168.43 | 0.05 | 0.15 | 1.33 |
| 153 | 163.36 | 0.04 | 0.16 | 1.36 |
| 156.02 | 178.17 | 0.06 | 0.16 | 1.28 |
| 159.02 | 166.59 | 0.07 | 0.14 | 1.40 |
| 162.02 | 169.42 | 0.06 | 0.15 | 1.34 |
| 165 | 168.64 | 0.05 | 0.16 | 1.35 |
| 168 | 164.25 | 0.07 | 0.15 | 1.45 |
| 171 | 165.49 | 0.06 | 0.13 | 1.53 |
| 174.01 | 165.48 | 0.05 | 0.15 | 1.52 |
| 177.02 | 165.39 | 0.05 | 0.16 | 1.39 |
| 180.01 | 169.53 | 0.05 | 0.16 | 1.48 |
| 183.01 | 166.72 | 0.06 | 0.14 | 1.41 |
| 186.01 | 165.43 | 0.06 | 0.14 | 1.44 |
| 189.01 | 164.71 | 0.06 | 0.14 | |
| 192.03 | 167.95 | 0.06 | 0.16 | |
| 195 | 165.66 | 0.06 | 0.15 | |
| 198.03 | 167.65 | 0.04 | 0.15 | |
| 201.01 | 158.68 | 0.06 | 0.14 | |
| 204.02 | 184.37 | 0.06 | 0.14 | |
| 207.03 | 184.49 | 0.04 | 0.16 | |
| 210 | 176.76 | 0.06 | 0.14 | |

| | | | | |
|--------|--------|------|------|--|
| 213.01 | 178.23 | 0.05 | 0.14 | |
| 216.01 | 166.67 | 0.06 | 0.14 | |
| 219.02 | 160.89 | 0.06 | 0.13 | |
| 222.02 | 160.76 | 0.06 | 0.13 | |
| 225 | 154.36 | 0.06 | 0.15 | |
| 228 | 167.07 | 0.05 | 0.16 | |
| 231.03 | 181.49 | 0.07 | 0.14 | |
| 234.02 | 157.37 | 0.06 | 0.14 | |
| 237.03 | 161.3 | 0.05 | 0.14 | |
| 240 | 164.48 | 0.05 | 0.15 | |
| 243 | 170.83 | 0.05 | 0.14 | |
| 246.02 | 178.42 | 0.06 | 0.15 | |
| 249 | 188.89 | 0.06 | 0.16 | |
| 252.03 | 178.29 | 0.05 | 0.14 | |
| 255.02 | 175.75 | 0.06 | 0.14 | |
| 258.02 | 166.98 | 0.06 | 0.15 | |
| 261.02 | 173.05 | 0.06 | 0.14 | |
| 264.01 | 165.1 | 0.06 | 0.15 | |
| 267.02 | 175.31 | 0.07 | 0.13 | |
| 270.02 | 168.84 | 0.05 | 0.13 | |
| 273 | 172.81 | 0.05 | 0.12 | |
| 276.01 | 178.68 | 0.05 | 0.13 | |
| 279.01 | 173.44 | 0.07 | 0.14 | |
| 282.01 | 177.68 | 0.05 | 0.14 | |
| 285 | 167.79 | 0.06 | 0.12 | |
| 288 | 159.28 | 0.06 | 0.15 | |
| 291.02 | 167.06 | 0.06 | 0.12 | |
| 294 | 159.87 | 0.05 | 0.16 | |
| 297 | 161.84 | 0.05 | 0.12 | |
| 300 | 159.64 | 0.06 | 0.1 | |

| Compartiment 3 sans extraction | | | | |
|--------------------------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|
| Time | TEMPERATURE | CO ₂ | O ₂ | Coeff extin |
| 0.00 | 20.00 | 0.00 | 0.21 | 0.00 |
| 3.01 | 20.00 | 0.00 | 0.21 | 0.00 |
| 6.01 | 20.01 | 0.00 | 0.21 | 0.00 |
| 9.03 | 27.68 | 0.00 | 0.21 | 0.00 |
| 12.01 | 93.15 | 0.00 | 0.21 | 0.00 |
| 15.01 | 99.27 | 0.01 | 0.20 | 0.53 |
| 18.00 | 103.43 | 0.01 | 0.19 | 0.96 |
| 21.02 | 91.93 | 0.01 | 0.19 | 0.99 |
| 24.03 | 120.41 | 0.01 | 0.19 | 0.82 |
| 27.03 | 147.09 | 0.02 | 0.18 | 1.18 |
| 30.00 | 150.59 | 0.02 | 0.18 | 1.00 |
| 33.00 | 141.31 | 0.01 | 0.19 | 1.04 |
| 36.03 | 92.99 | 0.01 | 0.19 | 0.80 |
| 39.03 | 150.33 | 0.03 | 0.18 | 0.97 |
| 42.02 | 143.48 | 0.02 | 0.18 | 1.06 |
| 45.01 | 155.20 | 0.03 | 0.17 | 1.23 |
| 48.04 | 150.30 | 0.02 | 0.18 | 1.02 |
| 51.03 | 168.97 | 0.03 | 0.17 | 1.39 |
| 54.02 | 166.16 | 0.03 | 0.17 | 1.24 |
| 57.03 | 167.47 | 0.02 | 0.18 | 1.27 |
| 60.00 | 181.27 | 0.02 | 0.18 | 1.23 |
| 63.02 | 171.27 | 0.02 | 0.18 | 1.24 |
| 66.03 | 172.45 | 0.03 | 0.18 | 1.45 |
| 69.01 | 187.11 | 0.02 | 0.18 | 1.46 |
| 72.02 | 176.19 | 0.03 | 0.17 | 1.29 |
| 75.02 | 173.61 | 0.02 | 0.18 | 1.34 |

| | | | | |
|--------|--------|------|------|------|
| 78.01 | 188.82 | 0.02 | 0.18 | 1.34 |
| 81.00 | 202.52 | 0.02 | 0.17 | 1.30 |
| 84.01 | 170.59 | 0.03 | 0.17 | 1.32 |
| 87.02 | 169.23 | 0.03 | 0.17 | 1.28 |
| 90.00 | 205.50 | 0.03 | 0.17 | 1.24 |
| 93.03 | 201.00 | 0.03 | 0.17 | 1.39 |
| 96.01 | 202.73 | 0.03 | 0.17 | 1.47 |
| 99.01 | 194.01 | 0.04 | 0.17 | 1.49 |
| 102.04 | 193.68 | 0.04 | 0.17 | 1.41 |
| 105.01 | 204.75 | 0.04 | 0.17 | 1.46 |
| 108.05 | 191.72 | 0.04 | 0.17 | 1.40 |
| 111.03 | 197.65 | 0.04 | 0.17 | 1.54 |
| 114.03 | 189.34 | 0.04 | 0.16 | 1.39 |
| 117.01 | 214.26 | 0.04 | 0.17 | 1.49 |
| 120.01 | 193.15 | 0.04 | 0.17 | 1.62 |
| 123.03 | 193.87 | 0.04 | 0.17 | 1.59 |
| 126.03 | 176.98 | 0.04 | 0.18 | 1.66 |
| 129.03 | 167.79 | 0.04 | 0.17 | 1.69 |
| 132.03 | 184.19 | 0.04 | 0.16 | 1.56 |
| 135.02 | 194.54 | 0.04 | 0.16 | 1.63 |
| 138.01 | 195.03 | 0.04 | 0.17 | 1.70 |
| 141.04 | 204.24 | 0.03 | 0.17 | 1.71 |
| 144.00 | 192.78 | 0.03 | 0.16 | 1.77 |
| 147.00 | 195.97 | 0.04 | 0.15 | 1.61 |
| 150.00 | 192.70 | 0.03 | 0.16 | 1.78 |
| 153.00 | 185.13 | 0.03 | 0.16 | 1.73 |
| 156.01 | 214.68 | 0.03 | 0.16 | 1.67 |
| 159.02 | 224.68 | 0.05 | 0.16 | 1.60 |
| 162.02 | 238.17 | 0.03 | 0.17 | 1.82 |
| 165.04 | 207.83 | 0.05 | 0.16 | 1.86 |

| | | | | |
|--------|--------|------|------|------|
| 168.02 | 217.79 | 0.05 | 0.16 | 1.71 |
| 171.00 | 181.82 | 0.03 | 0.16 | 1.88 |
| 174.03 | 192.36 | 0.03 | 0.16 | 1.68 |
| 177.03 | 201.79 | 0.03 | 0.17 | 1.64 |
| 180.02 | 209.19 | 0.03 | 0.16 | 1.70 |
| 183.00 | 211.41 | 0.04 | 0.16 | 1.85 |
| 186.03 | 198.20 | 0.04 | 0.16 | 1.91 |
| 189.02 | 206.45 | 0.04 | 0.16 | 2.11 |
| 192.03 | 214.93 | 0.04 | 0.15 | 2.02 |
| 195.00 | 220.02 | 0.04 | 0.15 | 1.85 |
| 198.01 | 218.13 | 0.04 | 0.15 | 1.85 |
| 201.00 | 208.67 | 0.04 | 0.15 | 1.89 |
| 204.03 | 210.60 | 0.04 | 0.16 | 2.18 |
| 207.01 | 215.35 | 0.04 | 0.15 | 1.93 |
| 210.02 | 207.45 | 0.04 | 0.15 | 1.98 |
| 213.02 | 204.17 | 0.04 | 0.15 | 1.84 |
| 216.01 | 225.24 | 0.05 | 0.15 | 2.03 |
| 219.02 | 228.82 | 0.05 | 0.16 | 2.03 |
| 222.01 | 225.51 | 0.05 | 0.16 | 2.28 |
| 225.02 | 212.17 | 0.05 | 0.15 | 2.12 |
| 228.02 | 209.85 | 0.05 | 0.15 | 2.27 |
| 231.00 | 211.15 | 0.05 | 0.16 | 2.21 |
| 234.00 | 216.42 | 0.06 | 0.16 | 2.19 |
| 237.00 | 213.76 | 0.06 | 0.16 | 2.06 |
| 240.00 | 207.06 | 0.06 | 0.16 | 2.08 |
| 243.04 | 203.07 | 0.06 | 0.16 | 2.21 |
| 246.02 | 200.89 | 0.06 | 0.15 | 2.14 |
| 249.01 | 214.75 | 0.06 | 0.15 | 2.28 |
| 252.02 | 187.35 | 0.06 | 0.14 | 2.21 |
| 255.01 | 222.19 | 0.05 | 0.14 | 2.13 |

| | | | | |
|--------|--------|------|------|------|
| 258.01 | 198.07 | 0.04 | 0.15 | 2.12 |
| 261.03 | 223.17 | 0.04 | 0.15 | 2.15 |
| 264.01 | 199.81 | 0.04 | 0.14 | 2.07 |
| 267.03 | 224.09 | 0.04 | 0.15 | 2.12 |
| 270.03 | 232.06 | 0.07 | 0.15 | 2.17 |
| 273.03 | 194.78 | 0.07 | 0.15 | 2.19 |
| 276.01 | 220.96 | 0.07 | 0.15 | 2.15 |
| 279.03 | 208.98 | 0.07 | 0.15 | 2.30 |
| 282.01 | 189.31 | 0.07 | 0.15 | 2.16 |
| 285.01 | 190.80 | 0.05 | 0.15 | 2.19 |
| 288.01 | 210.39 | 0.05 | 0.15 | 2.19 |
| 291.01 | 201.37 | 0.05 | 0.15 | 2.14 |
| 294.01 | 210.74 | 0.07 | 0.15 | 2.20 |
| 297.04 | 241.85 | 0.06 | 0.15 | 2.25 |
| 300.00 | 220.48 | 0.05 | 0.15 | 2.34 |

Annexe 2 : résultats de la simulation avec système d'extraction

| Compartiment 1 avec extraction | | | | |
|--------------------------------|-------------|----------------|-----------------|-------------|
| Time | TEMPERATURE | O ₂ | CO ₂ | Coeff extin |
| 0 | 20.00 | 0.21 | 0.00 | 0.00 |
| 3.02 | 20.00 | 0.21 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 20.01 | 0.21 | 0.01 | 0.00 |
| 9.02 | 20.02 | 0.21 | 0.02 | 0.00 |
| 12.03 | 20.68 | 0.20 | 0.02 | 0.00 |
| 15.03 | 49.37 | 0.21 | 0.02 | 0.01 |
| 18 | 67.42 | 0.21 | 0.02 | 0.02 |

| | | | | |
|--------|--------|------|------|------|
| 21.01 | 44.55 | 0.21 | 0.02 | 0.01 |
| 24.01 | 49.36 | 0.20 | 0.02 | 0.02 |
| 27 | 64.46 | 0.21 | 0.03 | 0.10 |
| 30.02 | 61.44 | 0.21 | 0.03 | 0.24 |
| 33.01 | 56.87 | 0.20 | 0.03 | 0.14 |
| 36.01 | 64.33 | 0.20 | 0.03 | 0.12 |
| 39.01 | 76.30 | 0.20 | 0.03 | 0.10 |
| 42.03 | 62.32 | 0.20 | 0.03 | 0.08 |
| 45.02 | 68.92 | 0.20 | 0.03 | 0.13 |
| 48.01 | 81.62 | 0.20 | 0.03 | 0.25 |
| 51.01 | 88.28 | 0.20 | 0.03 | 0.35 |
| 54.01 | 91.90 | 0.20 | 0.03 | 0.43 |
| 57 | 87.43 | 0.20 | 0.03 | 0.36 |
| 60.03 | 95.05 | 0.20 | 0.03 | 0.33 |
| 63.01 | 102.72 | 0.20 | 0.03 | 0.38 |
| 66.03 | 93.30 | 0.20 | 0.03 | 0.47 |
| 69.02 | 101.06 | 0.20 | 0.03 | 0.44 |
| 72.01 | 100.04 | 0.20 | 0.03 | 0.48 |
| 75 | 110.69 | 0.20 | 0.03 | 0.44 |
| 78.02 | 106.82 | 0.20 | 0.03 | 0.44 |
| 81.01 | 110.33 | 0.20 | 0.03 | 0.48 |
| 84.01 | 120.99 | 0.20 | 0.03 | 0.55 |
| 87.02 | 115.74 | 0.20 | 0.04 | 0.63 |
| 90.02 | 116.92 | 0.20 | 0.04 | 0.61 |
| 93.01 | 112.55 | 0.20 | 0.04 | 0.64 |
| 96 | 122.30 | 0.20 | 0.04 | 0.61 |
| 99.02 | 115.48 | 0.20 | 0.04 | 0.60 |
| 102.02 | 118.21 | 0.20 | 0.04 | 0.63 |
| 105.02 | 119.35 | 0.20 | 0.04 | 0.68 |
| 108.03 | 119.48 | 0.20 | 0.04 | 0.72 |

| | | | | |
|--------|--------|------|------|------|
| 111.01 | 120.77 | 0.20 | 0.03 | 0.82 |
| 114 | 118.31 | 0.20 | 0.04 | 0.80 |
| 117.01 | 121.86 | 0.19 | 0.04 | 0.77 |
| 120.02 | 125.02 | 0.19 | 0.04 | 0.85 |
| 123.01 | 123.02 | 0.19 | 0.04 | 0.91 |
| 126.01 | 127.39 | 0.19 | 0.04 | |
| 129 | 128.63 | 0.19 | 0.05 | |
| 132.03 | 127.55 | 0.19 | 0.04 | |
| 135 | 130.12 | 0.19 | 0.04 | |
| 138.01 | 127.89 | 0.19 | 0.04 | |
| 141.02 | 137.81 | 0.19 | 0.04 | |
| 144 | 132.60 | 0.19 | 0.03 | |
| 147.03 | 134.50 | 0.19 | 0.03 | |
| 150.01 | 139.86 | 0.19 | 0.02 | |
| 153.02 | 135.58 | 0.19 | 0.03 | |
| 156.01 | 137.80 | 0.19 | 0.03 | |
| 159.02 | 141.83 | 0.19 | 0.02 | |
| 162.01 | 152.24 | 0.19 | 0.02 | |
| 165 | 141.42 | 0.19 | 0.02 | |
| 168.01 | 145.94 | 0.19 | 0.03 | |
| 171.01 | 145.85 | 0.19 | 0.03 | |
| 174.02 | 152.94 | 0.19 | 0.03 | |
| 177.02 | 142.67 | 0.19 | 0.02 | |
| 180.01 | 142.01 | 0.19 | 0.02 | |
| 183.03 | 149.88 | 0.19 | 0.03 | |
| 186.01 | 149.52 | 0.19 | 0.03 | |
| 189.01 | 151.45 | 0.19 | 0.03 | |
| 192.02 | 134.91 | 0.19 | 0.03 | |
| 195.01 | 149.32 | 0.19 | 0.03 | |
| 198.01 | 146.72 | 0.19 | 0.03 | |

| | | | | |
|--------|--------|------|------|--|
| 201.03 | 142.29 | 0.19 | 0.03 | |
| 204.01 | 147.63 | 0.19 | 0.04 | |
| 207.01 | 150.10 | 0.18 | 0.03 | |
| 210.03 | 147.00 | 0.19 | 0.04 | |
| 213.01 | 144.52 | 0.19 | 0.04 | |
| 216.02 | 137.89 | 0.19 | 0.04 | |
| 219.02 | 146.91 | 0.19 | 0.04 | |
| 222.01 | 152.21 | 0.19 | 0.04 | |
| 225 | 147.67 | 0.19 | 0.04 | |
| 228.02 | 142.85 | 0.19 | 0.04 | |
| 231.02 | 148.53 | 0.19 | 0.04 | |
| 234.01 | 143.90 | 0.19 | 0.04 | |
| 237.03 | 140.16 | 0.19 | 0.04 | |
| 240 | 137.69 | 0.19 | 0.05 | |
| 243.03 | 144.60 | 0.18 | 0.04 | |
| 246.03 | 138.37 | 0.18 | 0.04 | |
| 249.01 | 142.34 | 0.18 | 0.04 | |
| 252.01 | 140.37 | 0.18 | 0.04 | |
| 255.03 | 142.28 | 0.18 | 0.04 | |
| 258.02 | 144.45 | 0.18 | 0.04 | |
| 261.03 | 142.21 | 0.18 | 0.04 | |
| 264.02 | 152.32 | 0.18 | 0.04 | |
| 267.03 | 149.41 | 0.18 | 0.04 | |
| 270.02 | 140.84 | 0.18 | 0.04 | |
| 273 | 137.06 | 0.18 | 0.05 | |
| 276.01 | 141.18 | 0.18 | 0.04 | |
| 279.02 | 141.78 | 0.18 | 0.05 | |
| 282.01 | 144.81 | 0.18 | 0.04 | |
| 285 | 132.36 | 0.18 | 0.05 | |
| 288.01 | 134.29 | 0.18 | 0.05 | |

| | | | | |
|--------|--------|------|------|--|
| 291 | 135.33 | 0.18 | 0.06 | |
| 294.01 | 135.47 | 0.18 | 0.05 | |
| 297.02 | 134.23 | 0.18 | 0.05 | |
| 300 | 135.23 | 0.18 | 0.04 | |

| Compartiment 2 avec extraction | | | | |
|--------------------------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|
| Time | TEMPERATURE | CO ₂ | O ₂ | Coeff extin |
| 0 | 20 | 0 | 0.21 | 0.00 |
| 3.01 | 20 | 0 | 0.21 | 0.00 |
| 6.01 | 20.01 | 0 | 0.21 | 0.00 |
| 9 | 20.03 | 0 | 0.21 | 0.00 |
| 12.01 | 20.14 | 0 | 0.21 | 0.00 |
| 15.01 | 27.77 | 0.01 | 0.21 | 0.00 |
| 18.01 | 28.78 | 0.01 | 0.21 | 0.00 |
| 21 | 25.25 | 0.01 | 0.21 | 0.00 |
| 24.01 | 28.88 | 0.02 | 0.21 | 0.00 |
| 27.01 | 52.75 | 0.01 | 0.2 | 0.00 |
| 30.01 | 58.7 | 0.02 | 0.2 | 0.01 |
| 33 | 74.43 | 0.02 | 0.2 | 0.09 |
| 36.01 | 79.69 | 0.02 | 0.2 | 0.27 |
| 39.01 | 84.96 | 0.02 | 0.2 | 0.31 |
| 42.01 | 93.98 | 0.02 | 0.2 | 0.32 |
| 45 | 94.22 | 0.02 | 0.2 | 0.36 |
| 48.01 | 96.31 | 0.02 | 0.2 | 0.34 |
| 51.01 | 88.61 | 0.02 | 0.2 | 0.37 |
| 54.01 | 97.56 | 0.02 | 0.2 | 0.36 |
| 57 | 103.2 | 0.02 | 0.2 | 0.36 |
| 60 | 101.03 | 0.02 | 0.19 | 0.35 |
| 63.01 | 106.93 | 0.02 | 0.19 | 0.42 |

| | | | | |
|--------|--------|------|------|------|
| 66.01 | 111.98 | 0.02 | 0.19 | 0.45 |
| 69 | 107.34 | 0.02 | 0.19 | 0.42 |
| 72 | 107.23 | 0.02 | 0.19 | 0.51 |
| 75.01 | 118.44 | 0.02 | 0.19 | 0.53 |
| 78.01 | 112.56 | 0.02 | 0.19 | 0.48 |
| 81.02 | 111.5 | 0.02 | 0.19 | 0.46 |
| 84 | 122.29 | 0.02 | 0.19 | 0.59 |
| 87.01 | 119.51 | 0.02 | 0.19 | 0.50 |
| 90.01 | 115.38 | 0.02 | 0.19 | 0.49 |
| 93.01 | 122.26 | 0.02 | 0.19 | 0.49 |
| 96 | 111.52 | 0.02 | 0.19 | 0.51 |
| 99.01 | 116.07 | 0.02 | 0.19 | 0.64 |
| 102.01 | 120.44 | 0.02 | 0.19 | 0.61 |
| 105.01 | 112.52 | 0.02 | 0.19 | 0.53 |
| 108 | 116.73 | 0.02 | 0.19 | 0.51 |
| 111.01 | 122.31 | 0.02 | 0.19 | 0.53 |
| 114.01 | 109.35 | 0.02 | 0.19 | 0.52 |
| 117.01 | 115.93 | 0.02 | 0.19 | 0.57 |
| 120 | 122.75 | 0.03 | 0.19 | 0.62 |
| 123.01 | 125.28 | 0.03 | 0.19 | 0.53 |
| 126.01 | 119 | 0.03 | 0.19 | 0.51 |
| 129.01 | 117.73 | 0.02 | 0.19 | 0.55 |
| 132 | 116.11 | 0.02 | 0.19 | 0.42 |
| 135.01 | 116.73 | 0.03 | 0.19 | 0.58 |
| 138.01 | 119.81 | 0.02 | 0.19 | 0.59 |
| 141.01 | 119.61 | 0.02 | 0.19 | 0.58 |
| 144 | 125.31 | 0.02 | 0.19 | 0.54 |
| 147 | 128.51 | 0.02 | 0.19 | 0.53 |
| 150.01 | 121.25 | 0.03 | 0.19 | 0.57 |
| 153.01 | 116.93 | 0.02 | 0.19 | 0.48 |

| | | | | |
|--------|--------|------|------|------|
| 156 | 109.36 | 0.02 | 0.19 | 0.51 |
| 159 | 120.86 | 0.03 | 0.19 | 0.68 |
| 162.01 | 120.14 | 0.03 | 0.19 | 0.68 |
| 165.01 | 127.03 | 0.03 | 0.19 | 0.74 |
| 168 | 135.76 | 0.03 | 0.19 | 0.79 |
| 171 | 128.84 | 0.03 | 0.19 | 0.73 |
| 174.01 | 123.19 | 0.03 | 0.19 | 0.63 |
| 177.01 | 110.4 | 0.03 | 0.19 | 0.70 |
| 180.02 | 122.19 | 0.03 | 0.19 | 0.79 |
| 183 | 122.86 | 0.03 | 0.19 | 0.76 |
| 186.01 | 120.73 | 0.03 | 0.19 | 0.84 |
| 189.01 | 125.47 | 0.03 | 0.19 | |
| 192.01 | 123.19 | 0.03 | 0.19 | |
| 195 | 143.8 | 0.02 | 0.19 | |
| 198.01 | 127.19 | 0.03 | 0.19 | |
| 201.01 | 112.09 | 0.02 | 0.19 | |
| 204.01 | 126.37 | 0.03 | 0.19 | |
| 207 | 119.06 | 0.02 | 0.19 | |
| 210.01 | 126.75 | 0.02 | 0.19 | |
| 213.01 | 127.79 | 0.02 | 0.19 | |
| 216.01 | 125.26 | 0.02 | 0.19 | |
| 219 | 119.25 | 0.02 | 0.19 | |
| 222.01 | 116.04 | 0.02 | 0.19 | |
| 225.01 | 118.62 | 0.02 | 0.19 | |
| 228.01 | 121.01 | 0.02 | 0.19 | |
| 231 | 117.04 | 0.03 | 0.19 | |
| 234.01 | 118.97 | 0.02 | 0.19 | |
| 237.01 | 128.64 | 0.02 | 0.19 | |
| 240.01 | 128.11 | 0.02 | 0.19 | |
| 243 | 127.87 | 0.02 | 0.19 | |

| | | | | |
|--------|--------|------|------|--|
| 246 | 116.44 | 0.02 | 0.19 | |
| 249.01 | 122.12 | 0.02 | 0.19 | |
| 252.01 | 128.58 | 0.02 | 0.19 | |
| 255 | 118.04 | 0.02 | 0.19 | |
| 258 | 131.35 | 0.02 | 0.19 | |
| 261.01 | 123.84 | 0.02 | 0.18 | |
| 264.01 | 120.23 | 0.02 | 0.19 | |
| 267 | 122.98 | 0.03 | 0.19 | |
| 270 | 127.2 | 0.03 | 0.19 | |
| 273.01 | 126.13 | 0.03 | 0.19 | |
| 276.01 | 127.43 | 0.03 | 0.19 | |
| 279.01 | 127.48 | 0.03 | 0.19 | |
| 282 | 123.15 | 0.03 | 0.19 | |
| 285.01 | 129.18 | 0.02 | 0.19 | |
| 288.01 | 116.48 | 0.02 | 0.19 | |
| 291.01 | 124.27 | 0.03 | 0.19 | |
| 294 | 118.23 | 0.02 | 0.19 | |
| 297.01 | 125.56 | 0.02 | 0.18 | |
| 300 | 123.27 | 0.02 | 0.18 | |

| Compartiment 3 avec extraction | | | | |
|--------------------------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|
| Time | TEMPERATURE | CO ₂ | O ₂ | Coeff extin |
| 0 | 20 | 0 | 0.21 | 0.00 |
| 3.01 | 20 | 0 | 0.21 | 0.00 |
| 6.01 | 20.01 | 0 | 0.21 | 0.00 |
| 9.01 | 43.64 | 0 | 0.21 | 0.03 |
| 12.01 | 62.13 | 0 | 0.2 | 0.10 |
| 15.01 | 58.73 | 0 | 0.2 | 0.03 |
| 18.01 | 43.53 | 0.01 | 0.2 | 0.03 |
| 21.01 | 54.52 | 0.01 | 0.2 | 0.05 |

| | | | | |
|--------|--------|------|------|------|
| 24.01 | 60.81 | 0.01 | 0.2 | 0.17 |
| 27.01 | 57.38 | 0.01 | 0.2 | 0.15 |
| 30.01 | 59.28 | 0.01 | 0.2 | 0.13 |
| 33.01 | 73.33 | 0.01 | 0.2 | 0.27 |
| 36.01 | 67.11 | 0.01 | 0.2 | 0.36 |
| 39.01 | 76.13 | 0.01 | 0.2 | 0.37 |
| 42.01 | 86.42 | 0.01 | 0.2 | 0.34 |
| 45.01 | 102.49 | 0.01 | 0.2 | 0.40 |
| 48.01 | 91.31 | 0.02 | 0.2 | 0.39 |
| 51.01 | 81.92 | 0.02 | 0.2 | 0.42 |
| 54 | 94.22 | 0.02 | 0.2 | 0.45 |
| 57 | 110.53 | 0.02 | 0.2 | 0.55 |
| 60 | 112.89 | 0.01 | 0.2 | 0.61 |
| 63 | 99.11 | 0.02 | 0.2 | 0.62 |
| 66 | 93.32 | 0.02 | 0.2 | 0.50 |
| 69 | 95.84 | 0.02 | 0.2 | 0.53 |
| 72 | 89.97 | 0.02 | 0.2 | 0.51 |
| 75 | 102.44 | 0.02 | 0.19 | 0.57 |
| 78 | 107.97 | 0.02 | 0.19 | 0.66 |
| 81 | 114.21 | 0.02 | 0.19 | 0.68 |
| 84 | 105.44 | 0.02 | 0.19 | 0.71 |
| 87 | 112.41 | 0.02 | 0.19 | 0.66 |
| 90 | 104.9 | 0.02 | 0.19 | 0.62 |
| 93 | 103.29 | 0.02 | 0.19 | 0.61 |
| 96.02 | 106.13 | 0.02 | 0.19 | 0.68 |
| 99.02 | 121.1 | 0.02 | 0.19 | 0.79 |
| 102.02 | 119.85 | 0.02 | 0.19 | 0.78 |
| 105.02 | 114.41 | 0.02 | 0.19 | 0.69 |
| 108.02 | 102.76 | 0.02 | 0.19 | 0.73 |
| 111.02 | 115.53 | 0.02 | 0.19 | 0.80 |

| | | | | |
|--------|--------|------|------|------|
| 114.02 | 126.93 | 0.02 | 0.19 | 0.85 |
| 117.02 | 121.45 | 0.02 | 0.19 | 0.86 |
| 120.02 | 117.95 | 0.03 | 0.19 | 0.82 |
| 123.02 | 125.66 | 0.03 | 0.19 | 0.84 |
| 126.02 | 111.62 | 0.02 | 0.19 | 0.86 |
| 129.01 | 114.63 | 0.02 | 0.19 | 0.92 |
| 132.01 | 115.62 | 0.03 | 0.19 | 0.92 |
| 135.01 | 119.22 | 0.03 | 0.19 | 0.92 |
| 138.01 | 125.27 | 0.03 | 0.19 | 0.92 |
| 141.01 | 124.85 | 0.02 | 0.19 | 0.89 |
| 144.01 | 116.5 | 0.03 | 0.19 | 0.87 |
| 147.01 | 112.41 | 0.03 | 0.19 | 0.87 |
| 150.01 | 118.4 | 0.03 | 0.19 | 0.87 |
| 153.01 | 125.61 | 0.03 | 0.18 | 0.83 |
| 156.01 | 127.37 | 0.03 | 0.19 | 0.95 |
| 159.01 | 133.59 | 0.02 | 0.19 | 0.97 |
| 162.01 | 123.6 | 0.03 | 0.19 | 0.94 |
| 165.01 | 115.78 | 0.02 | 0.19 | 0.94 |
| 168.01 | 108.84 | 0.03 | 0.19 | 0.97 |
| 171.01 | 123.17 | 0.02 | 0.18 | 1.02 |
| 174.01 | 126.26 | 0.03 | 0.19 | 1.03 |
| 177.01 | 128.55 | 0.03 | 0.19 | 1.00 |
| 180.01 | 118.26 | 0.03 | 0.18 | 1.02 |
| 183.01 | 112.33 | 0.03 | 0.18 | 1.07 |
| 186.01 | 135.13 | 0.03 | 0.19 | 1.18 |
| 189.01 | 115.77 | 0.03 | 0.19 | 1.14 |
| 192.01 | 124.03 | 0.03 | 0.18 | 1.15 |
| 195.01 | 133.73 | 0.03 | 0.18 | 1.15 |
| 198.01 | 137.47 | 0.03 | 0.18 | 1.21 |
| 201.01 | 135.23 | 0.03 | 0.18 | 1.26 |

| | | | | |
|--------|--------|------|------|------|
| 204.01 | 125.7 | 0.03 | 0.18 | 1.24 |
| 207.01 | 119.5 | 0.03 | 0.18 | 1.14 |
| 210.01 | 144.72 | 0.03 | 0.18 | 1.19 |
| 213 | 140.23 | 0.03 | 0.18 | 1.22 |
| 216 | 121.31 | 0.03 | 0.18 | 1.08 |
| 219 | 119.2 | 0.03 | 0.18 | 1.10 |
| 222 | 142.55 | 0.03 | 0.18 | 1.25 |
| 225 | 144.79 | 0.03 | 0.18 | 1.27 |
| 228 | 128.92 | 0.03 | 0.18 | 1.23 |
| 231 | 118.65 | 0.03 | 0.18 | 1.24 |
| 234 | 116.2 | 0.03 | 0.18 | 1.16 |
| 237 | 116.96 | 0.03 | 0.18 | 1.15 |
| 240 | 133.88 | 0.03 | 0.18 | 1.18 |
| 243 | 120.86 | 0.03 | 0.18 | 1.17 |
| 246 | 125.9 | 0.03 | 0.18 | 1.24 |
| 249 | 143.27 | 0.03 | 0.18 | 1.24 |
| 252 | 134.64 | 0.03 | 0.18 | 1.26 |
| 255.02 | 127.95 | 0.03 | 0.18 | 1.27 |
| 258.02 | 127.9 | 0.03 | 0.18 | 1.33 |
| 261.02 | 127.25 | 0.03 | 0.18 | 1.31 |
| 264.02 | 124.03 | 0.03 | 0.18 | 1.38 |
| 267.02 | 124.51 | 0.03 | 0.18 | 1.40 |
| 270.02 | 117.6 | 0.03 | 0.18 | 1.34 |
| 273.02 | 124.5 | 0.04 | 0.18 | 1.29 |
| 276.02 | 125.93 | 0.03 | 0.18 | 1.38 |
| 279.02 | 128.59 | 0.03 | 0.18 | 1.47 |
| 282.02 | 134.88 | 0.03 | 0.18 | 1.47 |
| 285.02 | 128.03 | 0.04 | 0.18 | 1.34 |
| 288.01 | 124.32 | 0.04 | 0.18 | 1.38 |
| 291.01 | 147.6 | 0.04 | 0.17 | 1.40 |

| | | | | |
|--------|--------|------|------|------|
| 294.01 | 160.05 | 0.03 | 0.18 | 1.28 |
| 297.01 | 125.54 | 0.03 | 0.18 | 1.36 |
| 300 | 114.47 | 0.03 | 0.18 | 1.35 |

Annexe 3 : table de dimensionnement des grilles GZ60

| Hn\Bn [mm] | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | 700 | 750 | 800 | |
|------------|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|
| 100 | Sn (m²) | 0,005 | 0,008 | 0,011 | 0,014 | 0,016 | 0,019 | 0,022 | 0,025 | 0,028 | 0,031 | 0,033 | 0,036 | 0,039 | 0,042 | 0,045 |
| | Q[-2Pa] m³/h | 10,600 | 14,900 | 19,300 | 23,800 | 28,500 | 33,200 | 38,000 | 42,900 | 47,800 | 52,900 | 58,100 | 63,400 | 68,700 | 74,200 | 79,700 |
| | Q[-10Pa] m³/h | 19,900 | 31,200 | 42,500 | 53,900 | 65,300 | 76,700 | 88,200 | 99,800 | 111,400 | 123,000 | 134,700 | 146,500 | 158,200 | 170,100 | 182,000 |
| 150 | Sn (m²) | 0,008 | 0,012 | 0,017 | 0,022 | 0,026 | 0,031 | 0,035 | 0,040 | 0,044 | 0,049 | 0,053 | 0,058 | 0,062 | 0,067 | 0,071 |
| | Q[-2Pa] m³/h | 17,800 | 26,900 | 36,300 | 46,100 | 56,300 | 66,900 | 77,800 | 89,100 | 100,800 | 112,900 | 125,300 | 138,100 | 151,300 | 164,900 | 178,800 |
| | Q[-10Pa] m³/h | 38,600 | 61,300 | 84,300 | 107,400 | 130,700 | 154,200 | 177,900 | 201,700 | 225,800 | 250,000 | 274,400 | 299,100 | 323,900 | 348,800 | 374,000 |
| 200 | Sn (m²) | 0,010 | 0,016 | 0,022 | 0,028 | 0,033 | 0,039 | 0,045 | 0,051 | 0,057 | 0,063 | 0,068 | 0,074 | 0,080 | 0,086 | 0,092 |
| | Q[-2Pa] m³/h | 22,700 | 35,200 | 48,300 | 62,100 | 76,500 | 91,700 | 107,400 | 123,900 | 141,000 | 158,800 | 177,200 | 196,300 | 216,100 | 236,600 | 257,700 |
| | Q[-10Pa] m³/h | 51,100 | 81,600 | 112,500 | 143,600 | 175,100 | 207,000 | 239,100 | 271,600 | 304,500 | 337,600 | 371,100 | 405,000 | 439,100 | 473,600 | 508,500 |
| 250 | Sn (m²) | 0,013 | 0,021 | 0,028 | 0,036 | 0,043 | 0,051 | 0,058 | 0,066 | 0,073 | 0,081 | 0,088 | 0,096 | 0,103 | 0,111 | 0,118 |
| | Q[-2Pa] m³/h | 30,400 | 48,300 | 67,400 | 87,800 | 109,400 | 132,300 | 156,400 | 181,900 | 208,500 | 236,500 | 265,700 | 296,100 | 327,800 | 360,800 | 395,000 |
| | Q[-10Pa] m³/h | 70,000 | 112,300 | 155,300 | 198,900 | 243,000 | 287,900 | 333,300 | 379,400 | 426,100 | 473,500 | 521,500 | 570,100 | 619,300 | 669,200 | 719,700 |
| 300 | Sn (m²) | 0,015 | 0,024 | 0,033 | 0,042 | 0,051 | 0,059 | 0,068 | 0,077 | 0,086 | 0,095 | 0,103 | 0,112 | 0,121 | 0,130 | 0,139 |
| | Q[-2Pa] m³/h | 35,600 | 57,300 | 80,800 | 106,000 | 133,000 | 161,700 | 192,200 | 224,400 | 258,400 | 294,200 | 331,700 | 371,000 | 412,000 | 454,800 | 499,300 |
| | Q[-10Pa] m³/h | 82,700 | 133,000 | 184,200 | 236,200 | 289,200 | 343,000 | 397,700 | 453,200 | 509,700 | 567,000 | 625,200 | 684,300 | 744,300 | 805,100 | 866,800 |
| 350 | Sn (m²) | 0,017 | 0,029 | 0,039 | 0,050 | 0,060 | 0,071 | 0,081 | 0,092 | 0,102 | 0,113 | 0,123 | 0,134 | 0,144 | 0,155 | 0,165 |
| | Q[-2Pa] m³/h | 43,700 | 71,500 | 101,900 | 135,000 | 170,800 | 209,200 | 250,300 | 294,100 | 340,500 | 389,600 | 441,300 | 495,700 | 552,800 | 612,500 | 674,900 |
| | Q[-10Pa] m³/h | 101,800 | 164,300 | 228,000 | 293,100 | 359,600 | 427,300 | 496,400 | 566,900 | 638,600 | 711,700 | 786,100 | 861,900 | 939,000 | 1.017,400 | 1.097,200 |
| 400 | Sn (m²) | 0,019 | 0,032 | 0,044 | 0,056 | 0,068 | 0,079 | 0,091 | 0,103 | 0,115 | 0,127 | 0,138 | 0,150 | 0,162 | 0,174 | 0,186 |
| | Q[-2Pa] m³/h | 49,300 | 81,300 | 116,700 | 155,500 | 197,700 | 243,200 | 292,100 | 344,400 | 400,100 | 459,100 | 521,500 | 587,200 | 656,400 | 728,900 | 804,800 |
| | Q[-10Pa] m³/h | 114,600 | 185,300 | 257,600 | 331,600 | 407,300 | 484,700 | 563,800 | 644,600 | 727,000 | 811,100 | 897,000 | 984,500 | 1.073,700 | 1.164,500 | 1.257,100 |

Annexe 4 : table de dimensionnement des grilles GE60-XL

| Hn\Bn [mm] | | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 |
|------------|----------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 200 | Sn (m ²) | | | | | | | | 0,077 | 0,086 | 0,095 | 0,104 |
| | Q[-2Pa] m ³ /h | | | | | | | | 457,200 | 513,800 | 570,400 | 626,900 |
| | Q[-10Pa] m ³ /h | | | | | | | | 1.083,900 | 1.205,900 | 1.327,900 | 1.449,900 |
| 300 | Sn (m ²) | | | | | | | | 0,132 | 0,148 | 0,163 | 0,179 |
| | Q[-2Pa] m ³ /h | | | | | | | | 805,000 | 902,400 | 999,900 | 1.097,400 |
| | Q[-10Pa] m ³ /h | | | | | | | | 1.833,700 | 2.043,900 | 2.254,000 | 2.464,100 |
| 400 | Sn (m ²) | | | | | | | | 0,182 | 0,203 | 0,225 | 0,246 |
| | Q[-2Pa] m ³ /h | | | | | | | | 1.115,700 | 1.249,600 | 1.383,600 | 1.517,600 |
| | Q[-10Pa] m ³ /h | | | | | | | | 2.503,500 | 2.792,400 | 3.081,200 | 3.370,100 |
| 500 | Sn (m ²) | 0,041 | 0,068 | 0,095 | 0,123 | 0,150 | 0,177 | 0,204 | 0,231 | 0,259 | 0,286 | 0,313 |
| | Q[-2Pa] m ³ /h | 233,000 | 403,500 | 574,000 | 744,400 | 914,900 | 1.085,400 | 1.255,900 | 1.426,300 | 1.596,800 | 1.767,300 | 1.937,800 |
| | Q[-10Pa] m ³ /h | 600,500 | 968,100 | 1.335,600 | 1.703,200 | 2.070,700 | 2.438,300 | 2.805,800 | 3.173,400 | 3.540,900 | 3.908,500 | 4.276,000 |
| 600 | Sn (m ²) | 0,051 | 0,085 | 0,118 | 0,152 | 0,186 | 0,219 | 0,253 | 0,287 | 0,321 | 0,354 | 0,388 |
| | Q[-2Pa] m ³ /h | 294,700 | 506,100 | 717,400 | 928,800 | 1.140,100 | 1.351,500 | 1.562,800 | 1.774,100 | 1.985,500 | 2.196,800 | 2.408,200 |
| | Q[-10Pa] m ³ /h | 733,600 | 1.189,300 | 1.644,900 | 2.100,600 | 2.556,200 | 3.011,900 | 3.467,600 | 3.923,200 | 4.378,900 | 4.834,600 | 5.290,200 |
| 700 | Sn (m ²) | 0,060 | 0,099 | 0,139 | 0,178 | 0,218 | 0,257 | 0,297 | 0,336 | 0,376 | 0,416 | 0,455 |
| | Q[-2Pa] m ³ /h | 349,800 | 597,700 | 845,600 | 1.093,400 | 1.341,300 | 1.589,100 | 1.837,000 | 2.084,800 | 2.332,700 | 2.580,500 | 2.828,400 |
| | Q[-10Pa] m ³ /h | 852,500 | 1.386,800 | 1.921,200 | 2.455,600 | 2.989,900 | 3.524,300 | 4.058,700 | 4.593,100 | 5.127,400 | 5.661,800 | 6.196,200 |
| 800 | Sn (m ²) | 0,070 | 0,116 | 0,162 | 0,208 | 0,254 | 0,300 | 0,346 | 0,392 | 0,438 | 0,484 | 0,530 |
| | Q[-2Pa] m ³ /h | 411,600 | 700,300 | 989,000 | 1.277,700 | 1.566,500 | 1.855,200 | 2.143,900 | 2.432,600 | 2.721,400 | 3.010,100 | 3.298,800 |
| | Q[-10Pa] m ³ /h | 985,500 | 1.608,000 | 2.230,500 | 2.853,000 | 3.475,500 | 4.097,900 | 4.720,400 | 5.342,900 | 5.965,400 | 6.587,900 | 7.210,400 |

Annexe 5 : table de dimensionnement des grilles GE120-XL

| Hn\Bn [mm] | | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 |
|------------|----------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 200 | Sn (m ²) | | | | | | | | 0,078 | 0,087 | 0,096 | 0,105 |
| | Q[-2Pa] m ³ /h | | | | | | | | 398,432 | 444,360 | 490,288 | 536,216 |
| | Q[-10Pa] m ³ /h | | | | | | | | 943,683 | 1.047,678 | 1.151,673 | 1.255,668 |
| 300 | Sn (m ²) | | | | | | | | 0,133 | 0,149 | 0,164 | 0,180 |
| | Q[-2Pa] m ³ /h | | | | | | | | 676,229 | 754,631 | 833,033 | 911,436 |
| | Q[-10Pa] m ³ /h | | | | | | | | 1.572,700 | 1.750,227 | 1.927,754 | 2.105,281 |
| 400 | Sn (m ²) | | | | | | | | 0,183 | 0,205 | 0,226 | 0,248 |
| | Q[-2Pa] m ³ /h | | | | | | | | 930,214 | 1.038,307 | 1.146,401 | 1.254,494 |
| | Q[-10Pa] m ³ /h | | | | | | | | 2.147,802 | 2.392,558 | 2.637,315 | 2.882,071 |
| 500 | Sn (m ²) | 0,043 | 0,071 | 0,099 | 0,127 | 0,155 | 0,183 | 0,211 | 0,238 | 0,266 | 0,294 | 0,322 |
| | Q[-2Pa] m ³ /h | 224,039 | 364,606 | 505,174 | 645,741 | 786,309 | 926,876 | 1.067,444 | 1.208,011 | 1.348,579 | 1.489,146 | 1.629,714 |
| | Q[-10Pa] m ³ /h | 548,803 | 867,091 | 1.185,379 | 1.503,667 | 1.821,955 | 2.140,243 | 2.458,532 | 2.776,820 | 3.095,108 | 3.413,396 | 3.731,684 |
| 600 | Sn (m ²) | 0,052 | 0,086 | 0,120 | 0,154 | 0,188 | 0,221 | 0,255 | 0,289 | 0,323 | 0,356 | 0,390 |
| | Q[-2Pa] m ³ /h | 270,188 | 440,447 | 610,705 | 780,963 | 951,222 | 1.121,480 | 1.291,738 | 1.461,997 | 1.632,255 | 1.802,514 | 1.972,772 |
| | Q[-10Pa] m ³ /h | 653,300 | 1.038,817 | 1.424,335 | 1.809,852 | 2.195,369 | 2.580,887 | 2.966,404 | 3.351,922 | 3.737,439 | 4.122,956 | 4.508,474 |
| 700 | Sn (m ²) | 0,062 | 0,101 | 0,141 | 0,181 | 0,220 | 0,260 | 0,300 | 0,339 | 0,379 | 0,419 | 0,458 |
| | Q[-2Pa] m ³ /h | 316,338 | 516,287 | 716,237 | 916,186 | 1.116,135 | 1.316,084 | 1.516,033 | 1.715,982 | 1.915,932 | 2.115,881 | 2.315,830 |
| | Q[-10Pa] m ³ /h | 757,798 | 1.210,544 | 1.663,291 | 2.116,037 | 2.568,784 | 3.021,530 | 3.474,277 | 3.927,023 | 4.379,770 | 4.832,516 | 5.285,263 |
| 800 | Sn (m ²) | 0,072 | 0,118 | 0,164 | 0,210 | 0,256 | 0,302 | 0,348 | 0,394 | 0,440 | 0,486 | 0,533 |
| | Q[-2Pa] m ³ /h | 366,815 | 599,238 | 831,662 | 1.064,085 | 1.296,509 | 1.528,932 | 1.761,356 | 1.993,779 | 2.226,203 | 2.458,626 | 2.691,050 |
| | Q[-10Pa] m ³ /h | 872,092 | 1.398,370 | 1.924,649 | 2.450,927 | 2.977,206 | 3.503,484 | 4.029,763 | 4.556,041 | 5.082,319 | 5.608,598 | 6.134,876 |

Annexe 6 : Exemple de Code de calcul FDS

```
&HEAD CHID='compartiment_3_avec_gaine'/
&TIME T_END=300.0/
&DUMP DT_RESTART=300.0, DT_SL3D=0.25, NFRAMES=100/

&MESH ID='Maillage01', IJK=256,105,22, XB=-0.237145,127.956723,0.023927,52.504161,0.0,20.0/

&REAC ID='Feul',
  FYI='NFPA Babrauskas',
  FUEL='REAC_FUEL',
  C=7,
  H=25,
  O=13,
  SOOT_YIELD=0.1/

&OBST ID='gaine 3.3 A', XB=15.704,16.723,2.566,8.664,4.0,5.0, COLOR='YELLOW'/
&OBST ID='gaine 3.3 B', XB=13.945,16.723,2.566,3.498,4.0,5.0, COLOR='YELLOW'/
&OBST ID='gaine 3.3', XB=15.67409,120.702,8.664246,9.549246,4.0,5.0, COLOR='YELLOW'/
&OBST ID='gaine 3.3 evacuation ', XB=13.945,15.404,2.566,3.508,5.0,10.0, COLOR='YELLOW'/
&OBST ID='gaine 3.2 evacuation ', XB=123.779,125.139,30.212,31.187,5.0,10.0, COLOR='YELLOW'/
&OBST ID='gaine 3.2 A', XB=118.503645,119.482229,27.676,30.208184,4.0,5.0, COLOR='YELLOW'/
&OBST ID='gaine 3.2 B', XB=118.506046,125.139078,30.208184,31.186767,4.0,5.0, COLOR='YELLOW'/
&OBST ID='gaine 3.2', XB=21.042,119.482229,26.790996,27.675996,4.0,5.0, COLOR='YELLOW'/
&OBST ID='gaine 3.1 evacuation ', XB=123.791,125.268,34.974,35.931,5.0,10.0, COLOR='YELLOW'/
&OBST ID='gaine 3.1 A', XB=118.635383,119.613966,35.931436,40.986507,4.0,5.0, COLOR='YELLOW'/
&OBST ID='gaine 3.1 B', XB=118.635383,125.268415,34.973639,35.931436,4.0,5.0, COLOR='YELLOW'/
&OBST ID='gaine 3.1', XB=21.042,119.613966,40.988,41.873,4.0,5.0, COLOR='YELLOW'/

&SURF ID='Burn',
  COLOR='RED',
  TEXTURE_MAP='psm_fire.jpg',
  HRRPUA=6000.0,
  TMP_FRONT=300.0/

&VENT ID='vent 3.3 ', SURF_ID='HVAC', XB=14.116781,15.316781,2.930334,3.330334,10.0,10.0, COLOR='YELLOW'/
&VENT ID='vent 3.3 interne ', SURF_ID='HVAC', XB=14.116781,15.316781,2.930334,3.330334,4.05,4.05,
COLOR='YELLOW'/
&VENT ID='vent 3.3.1', SURF_ID='HVAC', XB=29.007,30.207,8.937,9.337,3.999,3.999, COLOR='YELLOW'/
&VENT ID='vent 3.3.1 interne', SURF_ID='HVAC', XB=29.007,30.207,8.937,9.337,4.05,4.05, COLOR='YELLOW'/
&VENT ID='vent 3.3.2', SURF_ID='HVAC', XB=49.26,50.46,8.937,9.337,3.999,3.999, COLOR='YELLOW'/
&VENT ID='vent 3.3.2 interne', SURF_ID='HVAC', XB=49.26,50.46,8.937,9.337,4.05,4.05, COLOR='YELLOW'/
&VENT ID='vent 3.3.3', SURF_ID='HVAC', XB=69.269,70.469,8.937,9.337,3.999,3.999, COLOR='YELLOW'/
&VENT ID='vent 3.3.3 interne ', SURF_ID='HVAC', XB=69.269,70.469,8.937,9.337,4.05,4.05, COLOR='YELLOW'/
&VENT ID='vent 3.3.4', SURF_ID='HVAC', XB=89.276,90.476,8.937,9.337,3.999,3.999, COLOR='YELLOW'/
&VENT ID='vent 3.3.4 interne', SURF_ID='HVAC', XB=89.276,90.476,8.937,9.337,4.05,4.05, COLOR='YELLOW'/
&VENT ID='vent 3.3.5', SURF_ID='HVAC', XB=109.249,110.449,8.937,9.337,3.999,3.999, COLOR='YELLOW'/
&VENT ID='vent 3.3.5 interne', SURF_ID='HVAC', XB=109.249,110.449,8.937,9.337,4.05,4.05, COLOR='YELLOW'/

&HVAC ID='Noeud joint 3.3', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='C 3.3.3','C 3.3.1','C evacuation 3.3',
XYZ=16.196,9.041,4.05/
&HVAC ID='Noeud vent 3.3', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Conduit evacuation 3.3', VENT_ID='vent 3.3 '/
&HVAC ID='Noeud vent 3.3.1', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Extraction 3.3.1', VENT_ID='vent 3.3.1'/
&HVAC ID='Noeud vent 3.3.2', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Extraction 3.3.2', VENT_ID='vent 3.3.2'/
```

&HVAC ID='Noeud vent 3.3.3', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Extraction 3.3.3', VENT_ID='vent 3.3.3'/
&HVAC ID='Noeud vent 3.3.4', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Extraction 3.3.4', VENT_ID='vent 3.3.4'/
&HVAC ID='Noeud vent 3.3.5', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Extraction 3.3.5', VENT_ID='vent 3.3.5'/

&HVAC ID='C 3.3.5', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.25, PERIMETER=2.0, NODE_ID='Noeud vent 3.3.5 interne ', 'Noeud vent 3.3.4 interne ', ROUGHNESS=1.0E-3, LENGTH=19.973/
&HVAC ID='C 3.3.4', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.49, PERIMETER=2.8, NODE_ID='Noeud vent 3.3.4 interne ', 'Noeud vent 3.3.3 interne ', ROUGHNESS=1.0E-3, LENGTH=20.007/
&HVAC ID='C 3.3.3', TYPE_ID='DUCT', AREA=0.81, PERIMETER=3.6, NODE_ID='Noeud vent 3.3.3 interne ', 'Noeud joint 3.3', ROUGHNESS=1.0E-3, LENGTH=53.673086/
&HVAC ID='C 3.3.2', TYPE_ID='DUCT', AREA=1.0, PERIMETER=4.0, NODE_ID='Noeud vent 3.3.2 interne ', 'Noeud vent 3.3.1 interne ', ROUGHNESS=1.0E-3, LENGTH=20.253/
&HVAC ID='C 3.3.1', TYPE_ID='DUCT', AREA=1.21, PERIMETER=4.4, NODE_ID='Noeud vent 3.3.1 interne ', 'Noeud joint 3.3', ROUGHNESS=1.0E-3, LENGTH=13.411344/
&HVAC ID='C evacuation 3.3', TYPE_ID='DUCT', AREA=1.21, PERIMETER=4.4, NODE_ID='Noeud joint 3.3', 'Noeud vent 3.3 interne ', ROUGHNESS=1.0E-3, LENGTH=6.092952/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=1.5/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=1.5/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN', PBZ=2.0/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', PBZ=2.0/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN', PBZ=1.5/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', PBZ=1.5/