

# Sécurité Incendie

## Ingénierie du désenfumage relative au Théâtre National de la Colline

**ADRESSE DE L'AFFAIRE**

15 RUE MALTE BRUN - 75020 PARIS

**OBJET DU DOCUMENT**

NOTE DE DEFINITION DES SCENARIOS D'ETUDE

**REDACTEUR**

U. MATTEI

**APPROBATEUR/VERIFICATEUR**

E. BLANCHARD

DATE : 30 JUIN 2025

REVISION : A



Immeuble Le Valmy  
18, avenue Léon Gaumont - 75020 Paris

T. +33 (0)1 44 73 14 61  
[www.lisi-ingenierie.fr](http://www.lisi-ingenierie.fr)

C			
B			
A	30/06/25	LISI	1ère diffusion
INDICE	DATE	EMETTEUR	MODIFICATION

# Sommaire

<b>1. - CONTEXTE ET OBJET DE L'ETUDE</b>	<b>4</b>
<b>2. - DESCRIPTION DU HALL</b>	<b>5</b>
2.1. - Cheminements d'évacuation .....	6
2.2. - Solution de désenfumage du hall .....	7
2.3. - Mesures complémentaires au désenfumage .....	7
<b>3. - OBJECTIFS DE SECURITE ET CRITERES DE PERFORMANCE ASSOCIES</b>	<b>9</b>
3.1. - Objectifs de sécurité.....	9
3.2. - Critères de performance.....	9
3.3. - Analyse de la performance .....	9
3.4. - Grandeurs physiques exploitées.....	10
<b>4. - SCENARIOS DE FEU D'ETUDE</b>	<b>11</b>
4.1. - Choix des foyers d'étude .....	11
4.1.1. - Feux imposés - Feux sans action du sprinkler .....	11
4.1.2. - Feux libres - Feux intégrant l'action du sprinkler .....	12
4.2. - Positions des feux .....	15
4.3. - Mise en œuvre du désenfumage .....	15
4.4. - Synthèse des scénarios de feu.....	16
<b>5. - SYNTHESE</b>	<b>17</b>

# Sécurité Incendie

## OBJET DU DOCUMENT

### NOTE DE DEFINITION DES SCENARIOS D'ETUDE

#### NOTE LIMINAIRE

La présente note s'inscrit dans le cadre de l'étude d'ingénierie du désenfumage relative au Théâtre National de la Colline. L'établissement situé au 15 Rue Malte Brun à Paris 20<sup>ème</sup> est un établissement recevant du public (ERP) de 2<sup>ème</sup> catégorie avec des activités principales de type L et d'autres activités de types N et M.

La présente note a pour objet la présentation des hypothèses et des scénarios d'étude que le LISI<sup>1</sup> propose, ainsi que la méthode employée pour les définir. À ce titre, elle répond aux exigences de l'article DF4§2 du règlement portant approbation de dispositions complétant et modifiant le règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public (dispositions relatives au désenfumage). Conformément aux exigences réglementaires, cette note est soumise pour avis à la Commission Départementale de Sécurité de Paris (75).

Après avis favorable de ladite commission, la phase suivante de l'ingénierie du désenfumage consistera à simuler numériquement les conditions dans le volume d'étude pour les scénarios validés. La performance du désenfumage sera alors établie. Cette seconde phase sera visée par une seconde note, elle-même soumise pour avis à la Commission Départementale de Sécurité de Paris.

(1) Organisme bénéficiant d'une reconnaissance de compétence par la Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles dans le domaine de l'ingénierie du désenfumage (JORF n°0054 du 4 mars 2017, texte n°97).

#### DOCUMENTS DE REFERENCE

- [1] « Plans des niveaux – Niveaux R-2 à R+2 », juin 2025
- [2] « Notice de sécurité incendie (DACAM n°3) », document CASSO, juin 2025
- [3] Avis défavorable de la SCDS en date du 26 février 2025

#### Autres références exploitées

- [4] « Instruction technique 246 relative au désenfumage des établissements recevant du public », arrêté du 22 mars 2004.
- [5] Conditions d'exercice de l'ingénierie du désenfumage établies par le Ministère de l'Intérieur, Courrier de la Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises adressé au LISI, Référence 2021/13, Daté du 29 avril 2021
- [6] « Guide de bonnes pratiques pour les études d'ingénierie du désenfumage – Etablissement recevant du public », Laboratoire Central de la Préfecture de Police, Juillet 2017
- [7] Norme NF ISO 16733-1 « Ingénierie de la sécurité incendie – Sélection de scénarios d'incendie et de feux de dimensionnement – Partie 1 : sélection de scénarios d'incendie de dimensionnement », 3 mars 2016
- [8] R.L. Alpert, Chapitre 14 "Ceiling Jet Flows", SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition, pages 431
- [9] Robert P. Schifiliti, Richard L.P. Custer, and Brian J. Meacham, « Design of detection systems », SFPE Handbook of Fire Protection Engineering », Chapter 40, page 1323, Edition 2016
- [10] J.M. Willi, G.P. Horn and D. Madrzykowski, "Characterizing a Firefighter's Immediate Thermal Environment in Live-Fire Training Scenarios", Fire Technology, 52, 1667–1696, 2016

## 1. - CONTEXTE ET OBJET DE L'ETUDE

Le projet concerne l'extension et la modification d'aspect extérieur du Théâtre National de la Colline à Paris. Sur le plan de la sécurité incendie, l'établissement restera classé ERP de 2<sup>e</sup> catégorie avec des activités principales de type L et des activités secondaires de types N et M. Le Théâtre comprend un hall d'entrée (Grand Hall), s'élevant du niveau R-2 au niveau R+2. Par ce hall, il est possible d'accéder, pour le public, aux autres espaces du bâtiment (Petit et Grand Théâtres et librairie).

Le hall pose question vis-à-vis de l'application des dispositions réglementaires en matière de sécurité incendie, et plus particulièrement concernant le dimensionnement de son désenfumage. En effet, il ne correspond pas aux configurations type figurant dans les instructions techniques IT246 et IT263 : il ne répond pas aux dimensions d'un atrium, il met en communication plusieurs niveaux, sa géométrie est complexe et les trémies de communication entre niveaux ne se trouvent pas à l'aplomb.

Dans ce contexte, après échange avec les services techniques de la Préfecture de Police, la maîtrise d'ouvrage a missionné le LISI dans le cadre d'une ingénierie du désenfumage en application de l'article DF4§2 du règlement de sécurité portant approbation de dispositions complétant et modifiant le règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public (dispositions relatives au désenfumage).

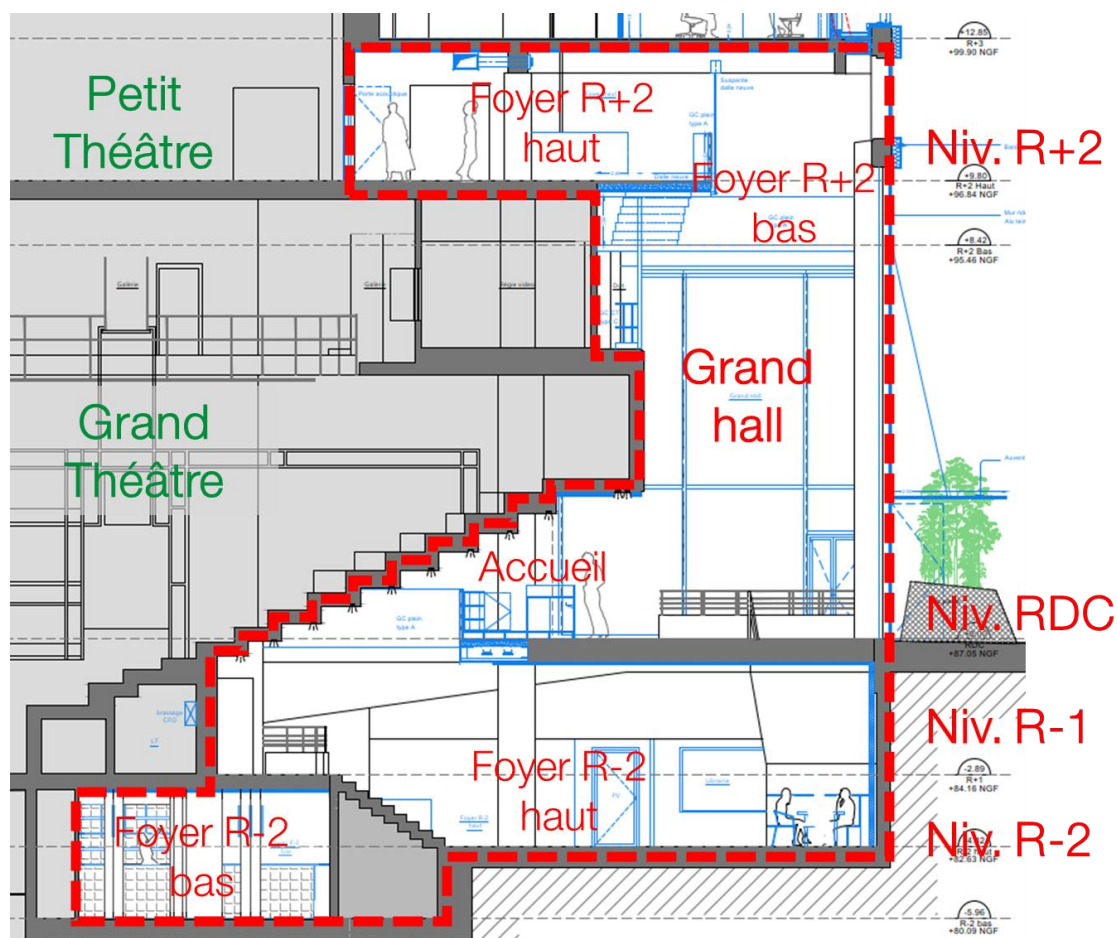


Figure 1 : Vue en coupe du grand hall

## 2. - DESCRIPTION DU HALL

Le niveau d'entrée dans le bâtiment est le niveau RDC. L'entrée principale se situe sur la seule façade nord depuis la rue Malte brun. L'entrée dans le bâtiment se fait par le hall. Le public peut alors accéder :

- Au Grand Théâtre, par les niveaux RDC et R-1 du hall.
- Au Petit Théâtre, par le niveau R+2 du hall.
- A la librairie, par le niveau R-2 du hall.

Le hall constitue le volume d'étude de l'ingénierie. Il s'élève du niveau R-2 au niveau R+2. Il est accessible au public sur les niveaux R-2, R-1, RDC et R+2.

Le volume d'étude accueille des activités de type N aux niveaux R-2 et R+2 ainsi que des activités de type L30§a (conférence) au niveau R-2 et également l'accueil du public (assimilable pour le risque incendie à du type W) au niveau RDC. La passerelle au niveau R+1 est à usage fonctionnel pour le personnel de l'établissement, elle est non accessible au public, elle ne comprend pas d'activité. Les Figure 2 à Figure 6 précisent la position de ces activités.

**Remarque :** Le classement de type M de l'établissement renvoie à la librairie, isolée du volume d'étude.

La géométrie du hall est complexe. Les niveaux du hall communiquent entre eux par de larges trémies (cf. Figure 2 à Figure 6). Les niveaux R-2 et R+2 ont des planchers à différentes hauteurs. Le plancher bas du niveau R-2 est distant de 18,50 m du plafond du niveau R+2. Une partie du volume se trouvant sous les gradins du Grand Théâtre, la hauteur sous plafond peut être variable dans certains niveaux.

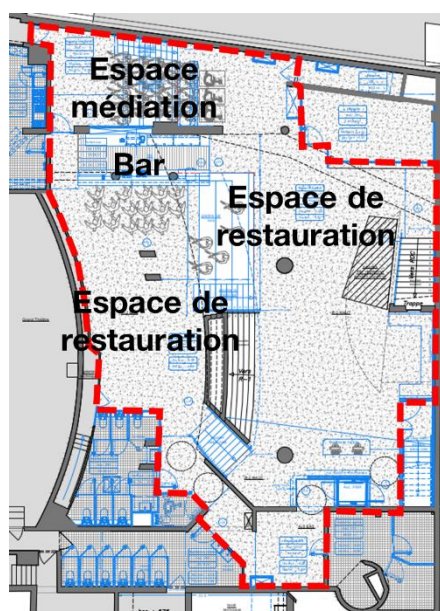


Figure 2 : Niveau R-2



Figure 3 : Niveau R-1



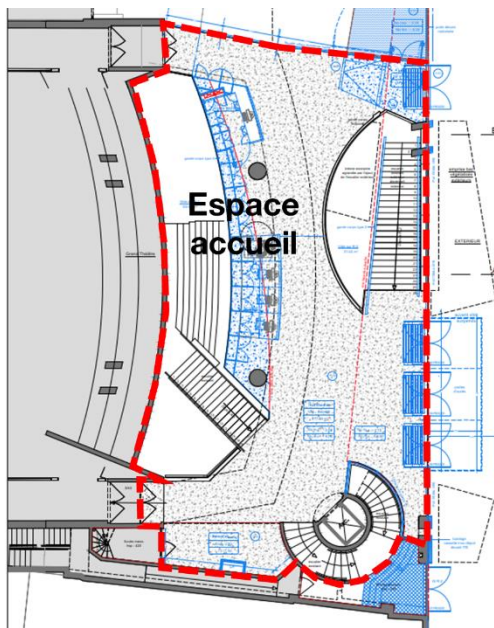


Figure 4 : Niveau RDC

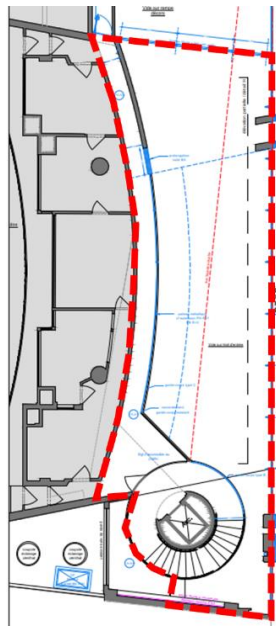


Figure 5 : Niveau R+1

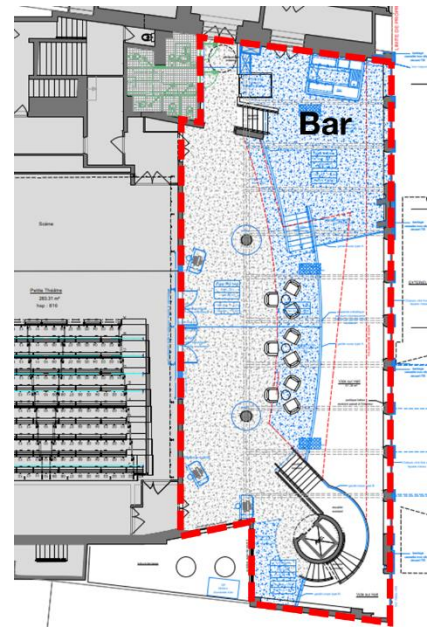


Figure 6 : Niveau R+2

## 2.1. - CHEMINEMENTS D'EVACUATION

En conditions normales d'exploitation, les entrées principales sont situées dans la halle, depuis la rue Malte brun. Le public traverse ainsi le volume d'étude pour accéder aux espaces d'activités de l'établissement aux différents niveaux de l'établissement. En conditions normales d'exploitation, le public peut se trouver dans le hall, dans le Grand Théâtre, accessible par le hall aux niveaux RDC et R-1 et dans le Petit Théâtre, accessible par le hall au niveau R+2.

En situation d'incendie, l'établissement comprend une seule zone d'alarme, intégrant la partie accessible au public et la partie non-accessible au public. Il est prévu que le déclenchement de l'alarme générale intervienne automatiquement au bout d'une temporisation de cinq minutes après le déclenchement de l'alarme restreinte et la levée de doute effectuée par le service de sécurité. Les cheminements d'évacuation sont définis dans la notice de sécurité incendie et dans les plans sécurité. L'analyse des cheminements d'évacuation permet de mettre en évidence que :

- Le public présent dans le hall :
  - Au niveau R-2, a la possibilité de gagner directement l'extérieur en empruntant un escalier encoisonné. Il a aussi la possibilité de gagner le niveau RDC par les escaliers ouverts et sortir par les portes du RDC.
  - Au niveau R-1, a la possibilité de gagner le niveau RDC par un escalier ouvert et sortir par les portes du RDC.
  - Au niveau RDC, évacue directement par les portes du RDC donnant sur la rue Malte brun.
  - Au niveau R+2, a la possibilité de gagner directement l'extérieur en empruntant un escalier encoisonné. Il a aussi la possibilité de gagner le niveau RDC par l'escalier hélicoïdal et sortir par les portes du RDC.
- Le public présent dans la librairie doit obligatoirement repasser par le hall au niveau R-2 pour évacuer.
- Le public présent dans le Grand Théâtre, a la possibilité de gagner directement l'extérieur sans repasser par le hall par un escalier du niveau R-1. Mais, une partie du public devra repasser par le hall, soit au niveau R-1, soit directement au niveau RDC. Ensuite il pourra sortir du bâtiment par les portes au niveau RDC.
- Le public présent dans le Petit Théâtre au niveau R+2, doit obligatoirement repasser par le foyer haut du niveau R+2 du hall. Alors, il a la possibilité de rejoindre un escalier encoisonné donnant sur l'extérieur ou gagner le niveau RDC tout en restant dans le volume du hall par l'escalier hélicoïdal pour sortir du bâtiment.
  - L'analyse des cheminements d'évacuation permet de mettre en évidence que seul le niveau RdC du volume d'étude constitue un cheminement d'évacuation. En ce qui concerne le volume libre intérieur, les passerelles ne sont pas utilisées au titre de l'évacuation. Pour le hall, l'escalier ouvert est à seul usage fonctionnel.

**En résumé, l'ensemble des niveaux du hall sont nécessaires pour l'évacuation du public présent initialement dans le hall ou dans un volume adjacent (Grand et Petit Théâtres ou librairie).**

## 2.2. - SOLUTION DE DESENFUMAGE DU HALL

Le volume d'étude forme un canton unique. Son désenfumage est mécanique.

La solution de désenfumage repose sur une extraction mécanique de la fumée et une amenée d'air naturelle :

- L'extraction mécanique est réalisée par des bouches positionnées en sous face du plancher du niveau RDC, dans la trémie derrière l'espace d'accueil du RDC et en sous face du plafond du niveau R+2. Au total, le débit d'extraction est égal à 28 m<sup>3</sup>/s.
- L'amenée d'air est réalisée en partie basse du volume d'étude. Elle est assurée par l'ouverture des 4 portes battantes (d'une surface unitaire de 5,6 m<sup>2</sup>) donnant sur l'extérieur au niveau RDC. L'amenée d'air sera complétée par des ouvrants asservis à la détection automatique d'incendie. La surface de ces ouvrants reste à définir.

L'extraction mécanique et les ouvrants sont prévus commandés depuis le CMSI. Leur mise en route commandée depuis le CMSI est prévue automatique et sans temporisation, après la sollicitation d'un détecteur de fumée. Ces dispositifs de désenfumage peuvent aussi être commandés manuellement depuis le CMSI par le personnel qui exploite le SSI. Les portes battantes sont ouvertes manuellement. Conformément au §3.3 et 3.9 de l'IT246, elles sont actionnées directement par les personnes amenées à évacuer, il s'agit de dégagements en situation d'incendie.

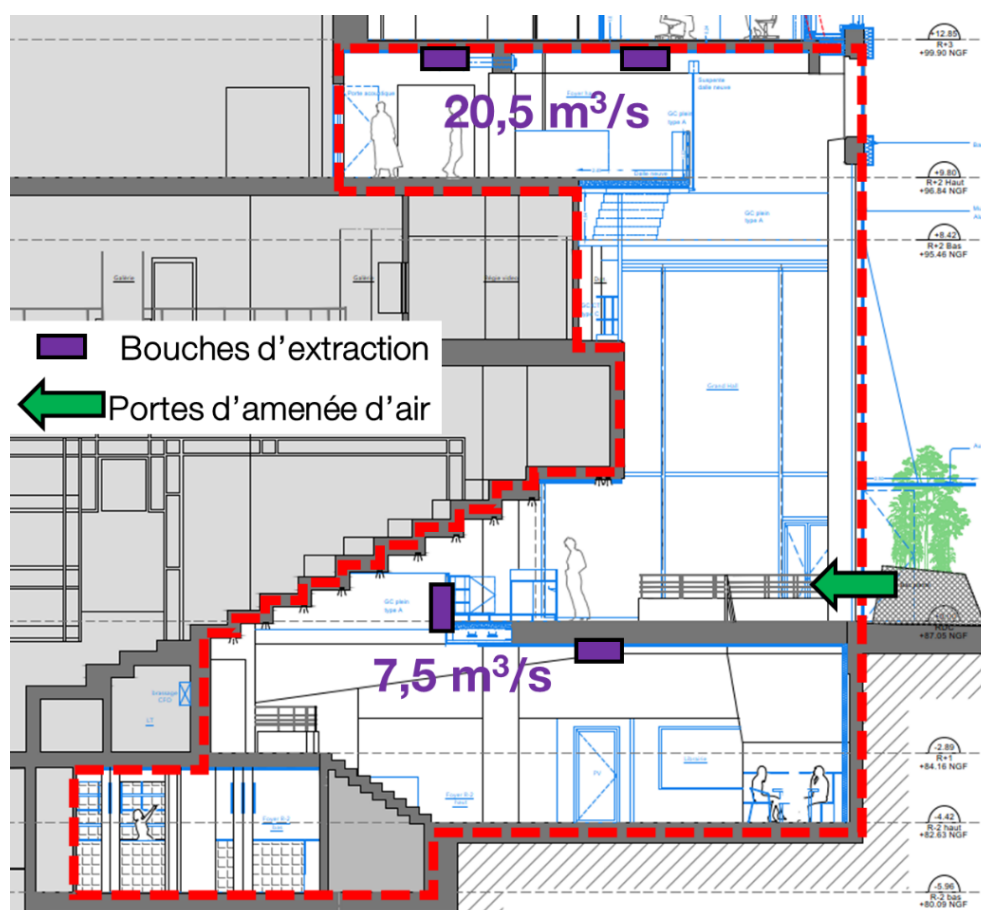


Figure 7 : Principe du désenfumage du hall

## 2.3. - MESURES COMPLEMENTAIRES AU DESENFUMAGE

L'établissement est équipé d'un Système de Sécurité Incendie (SSI) de catégorie A et équipement d'alarme de type 1. La détection automatique d'incendie (DAI) est mise en place dans le volume d'étude. L'établissement constitue une seule zone d'alarme (ZA).

Le volume d'étude constitue une seule zone de désenfumage (ZF). L'ensemble des éléments asservis des solutions de désenfumage est déclenché automatiquement suite à la sollicitation d'un détecteur automatique d'incendie.

Le personnel sera formé à l'utilisation des moyens de secours et du fonctionnement du système d'alarme.



Ces données sont tirées de la référence [2].

Bien que non exigé règlementairement, le projet propose de protéger une partie du hall par un système d'extinction automatique à eau de type sprinkler. Les têtes sprinkler sont disposées en sous-face des plafonds et faux-plafonds de sorte à couvrir l'ensemble de la rue intérieure. La classe de risque est OH3. En particulier, sont couverts les espaces d'activité des niveaux RDC (espace accueil) et R+2 (espace bar et médiation). La surface couverte est identifiée en rouge sur la Figure 8 et Figure 9.

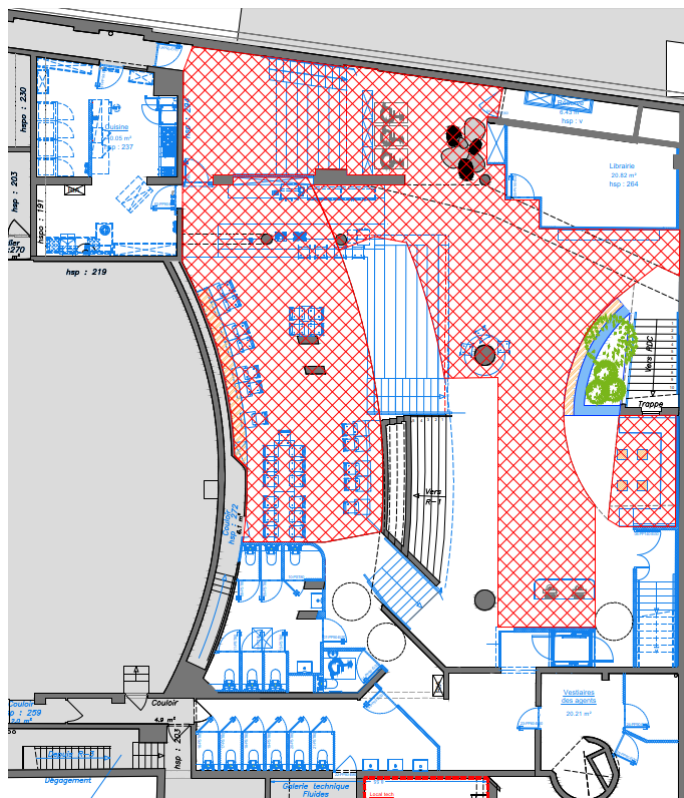


Figure 8 : Plan du niveau R-2 – Surface couverte par le système SPK

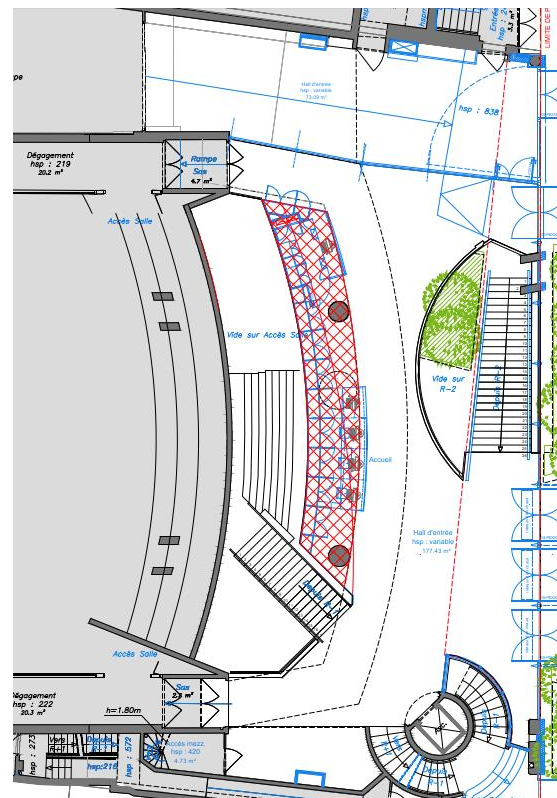


Figure 9 : Plan du niveau RDC – Surface couverte par le système SPK

### **3. - OBJECTIFS DE SECURITE ET CRITERES DE PERFORMANCE ASSOCIES**

#### **3.1. - OBJECTIFS DE SECURITE**

L'article DF1 (arrêté du 22 mars 2004 relatif au désenfumage des établissements recevant du public), définit l'objet du désenfumage : « *Le désenfumage a pour objet d'extraire, en début d'incendie, une partie des fumées et des gaz de combustion afin de maintenir praticables les cheminements destinés à l'évacuation du public. Il peut concourir également à limiter la propagation de l'incendie ; faciliter l'intervention des secours.* » L'ingénierie du désenfumage permet d'évaluer les conditions globales de danger sur les personnes. Les cibles auxquelles nous nous intéressons sont, dans l'ordre de priorité :

- Les personnes (public, personnel) présentes dans le volume d'étude ou amenées à l'emprunter pour évacuer. Le public peut ne pas connaître les lieux. Il n'est pas ou peu sensibilisé à la sécurité incendie, aux moyens et procédures mis en œuvre en cas de départ de feu et ne connaît pas a priori les chemins d'évacuation. Le personnel connaît les lieux. Il est sensibilisé à la sécurité incendie par la conduite d'exercices d'évacuation, aux moyens et procédures mis en œuvre en cas de départ de feu et connaît a priori tous les chemins d'évacuation.
- Les secours lors de leur intervention. Ils connaissent en général les lieux. Ils sont formés à la lutte contre le feu. Ils sont de plus équipés de matériel permettant une intervention dans des conditions thermiques et toxiques bien supérieures à celles du public.

#### **3.2. - CRITERES DE PERFORMANCE**

Le chapitre 8 de l'Instruction Technique n°246 (IT 246) relative au désenfumage précise les conditions de l'atteinte du premier objectif de sécurité : « *Les cheminements sont considérés comme praticables par exemple lorsque les conditions suivantes sont satisfaites :*

- *la hauteur libre de fumée est suffisante (cette hauteur est au moins égale à la moitié de la hauteur de référence ; elle est toujours plus haute que le linteau des portes et jamais inférieure à 1,80 m) ;*
- *le flux de chaleur reçu par les personnes est supportable ».*

Pour le public et le personnel, la performance de la solution de désenfumage est évaluée à partir des critères quantitatifs suivants qui servent de repères à la criticité des conditions d'évacuation pour des personnes dénuées d'équipement de protection. Ils sont repris du chapitre 8 de l'IT 246 et de la référence [6]:

- S'il existe une couche de fumée, alors la hauteur libre de fumée doit être supérieure à 2 m et la densité de flux de chaleur reçu par les personnes circulant sous cette couche de fumée inférieure à 2 kW/m<sup>2</sup> [4]. Si la hauteur libre est inférieure et la densité de flux est supérieure alors les conditions deviennent contraignantes.
- Si de la fumée est présente à hauteur d'homme, alors une température de 40°C et une valeur du coefficient d'extinction de la lumière au travers de la fumée de 0,4 m<sup>-1</sup> constituent des seuils de criticité [6].

Pour les pompiers, on retient les repères de criticité qui figurent dans les références [6] et [10] :

- S'il existe une couche de fumée, alors le flux de chaleur reçu par les pompiers circulant sous la couche de fumée doit être inférieur à 5,0 kW/m<sup>2</sup>.
- Si la température à hauteur d'homme est inférieure à 100°C, les conditions sont acceptables. Si elle est supérieure, alors les conditions d'intervention des pompiers deviennent contraignantes.

#### **3.3. - ANALYSE DE LA PERFORMANCE**

Il appartient à l'organisme reconnu compétent de définir et « *proposer une méthode adéquate pour évaluer la performance de l'installation de désenfumage* » (réf. [5]). Le caractère acceptable des solutions de désenfumage est défini à partir de l'analyse croisée des trois analyses suivantes :

- Premièrement, par une **analyse quantitative de la performance** de la solution de désenfumage exploitant les résultats des simulations dynamiques du feu et du mouvement de la fumée pendant la phase stationnaire des feux d'étude,
- Deuxièmement, par l'**analyse qualitative** des mesures constructives, techniques et organisationnelles complémentaires au désenfumage et de l'analyse quantitative des conditions d'enfumage en début d'incendie,
- Troisièmement, par une **analyse qualitative de l'évacuation**, s'appuyant éventuellement sur une **analyse quantitative de la durée du déplacement des personnes**, si cela s'avère nécessaire. Dans ce cas, les hypothèses relatives au calcul de la durée de déplacement des personnes seront explicitées.

Le modèle numérique exploité dans la seconde phase de l'étude intégrera les singularités de chaque dispositif de désenfumage. Par exemple, si la solution de désenfumage intègre *in fine* un conduit, le modèle représentera la géométrie du conduit pour intégrer leurs pertes de charge singulières et linéaires. La discrétisation spatiale sera définie de sorte de reproduire les écoulements dans ces conduits.

Si l'analyse quantitative de l'évacuation des personnes est nécessaire, son calcul sera détaillé dans le rapport d'étude (seconde étape de l'ingénierie). En particulier, le LISI explicitera les différents temps et délais utilisés pour décomposer le Temps de Mise Sécurité du Public (TMSP) et la manière dont ils ont été définis (estimation a priori ou calcul, méthodes de calcul, etc.). Les hypothèses retenues seront prises en cohérence avec le fonctionnement de l'établissement, et notamment pour ce qui concerne la détection et l'alarme.

### 3.4. - GRANDEURS PHYSIQUES EXPLOITEES

Les conditions de danger sur les personnes sont évaluées en exploitant les grandeurs physiques associées aux critères quantitatifs. Ces grandeurs caractérisent l'enfumage et les conditions thermiques. Elles sont calculées par le logiciel FDS dans sa version n°6.7 :

- **Le champ horizontal du coefficient d'extinction** à hauteur d'homme, soit à une hauteur de 2 m, sur chacun des niveaux accessibles au public. Le coefficient d'extinction caractérise l'enfumage, une valeur nulle du coefficient d'extinction indique un espace libre de fumée.
- **Le champ vertical du coefficient d'extinction.** Il permet de quantifier, si elle existe, la hauteur libre de fumée.
- **Le champ horizontal et vertical** de la température de gaz sur les mêmes vues que le coefficient d'extinction. Ces champs caractérisent les conditions thermiques. Plus la température à hauteur d'homme reste proche de la valeur de la température initiale, meilleures sont les conditions.

## 4. - SCENARIOS DE FEU D'ETUDE

Un scénario de feu est défini ci-après par un feu, une position dans le bâtiment et une solution de désenfumage, intégrant ses caractéristiques techniques et ses conditions de mise en œuvre. Pour tous les scénarios, la température ambiante est identique à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment, elle est égale à 20°C

### 4.1. - CHOIX DES FOYERS D'ETUDE

Ce chapitre explique et justifie les feux d'étude proposés.

Le chapitre 4.1.1. - porte sur les feux qui ne sont pas couverts par le système d'extinction automatique à eau ou ceux pour lesquels celui-ci est considéré défaillant, il ne fonctionne pas. Aussi, aucune action humaine de lutte contre le feu n'est retenue.

Le chapitre 4.1.2. - porte sur les feux où le système sprinkler fonctionne. Dans ce second cas, les foyers proposés intègrent une limitation du dégagement de chaleur par l'action de l'eau du système d'extinction automatique à eau.

#### 4.1.1. - FEUX IMPOSES - FEUX SANS ACTION DU SPRINKLER

Un feu démarre, il concerne un objet (il est localisé). De la fumée est produite, elle s'élève au-dessus de l'objet en feu. Sans action de lutte contre le feu, le feu se développe. La surface en pyrolyse s'étend et la puissance du feu augmente. Le panache de fumée impacte le plafond. La fumée s'écoule sous celui-ci jusqu'à rencontrer un obstacle (murs). Une couche de fumée se forme, la fumée remplit le volume.

Sans action de lutte contre le feu, le feu s'étend de proche en proche. La question qui se pose alors est : comment choisir les feux d'étude ? Si on ne considère pas d'action de lutte contre le feu, le scénario doit nécessairement impliquer un feu puissant mais quelle puissance retenir ? Une partie de la réponse est donnée par l'article GA28§1 du règlement de sécurité : « Le désenfumage a pour objet d'extraire, en début d'incendie, une partie des fumées et des gaz de combustion... ». Il faut un certain temps pour que le foyer primaire atteigne une puissance suffisante pour entraîner l'allumage d'un second foyer par rayonnement thermique ou que le feu se développe et s'étende de proche en proche. Le courrier du Ministère de l'Intérieur complète la réponse [5]. Selon le caractère de l'exploitation, il est demandé de retenir les feux introduits en annexe de la référence [6] pour déterminer les caractéristiques du désenfumage. Autrement formulé, il est établi des feux types par activité pour lesquels on attend que le désenfumage soit performant. Ces feux définissent la cinétique de développement, la puissance maximale du feu et la réaction de combustion.

Le volume d'étude accueille des activités de type N au R-2 et R+2 ainsi que des activités de type L30§a (conférence) au niveau R-2 et également l'accueil du public (assimilable pour le risque incendie à du type W) au niveau RDC. Les activités au niveaux RDC et R+2 sont à faibles potentiel calorifique : le gros mobilier présente une performance en réaction au feu M0/M1 et il n'y a pas d'appareil de cuisson pour le type N.

**Le Guide du LCPP amène à retenir :**

- Le feu n°1 pour les espaces d'activité à faible potentiel calorifique aux niveaux RDC et R+2
- Le feu n°2 pour les espaces d'activité de types N et L (art.30§a) au niveau R-2

**Remarque :** Conformément au Guide du LCPP, la puissance maximale des feux pourra être diminuée si la ventilation ne permet pas une bonne oxygénation du foyer. Dans pareil cas, cela sera justifié dans la seconde phase de l'étude, lorsque les simulations numériques seront réalisées.

Le dégagement de chaleur par unité de surface permet de faire le lien avec la surface de pyrolyse. Plus la surface impliquée au sol est grande, plus l'enfumage du volume est contraignant. Nous proposons donc de retenir un dégagement de chaleur par unité de surface de 333 kW/m<sup>2</sup> correspondant à un mélange de matériaux cellulose et plastiques. Cela renvoie ainsi à **une surface de 3 m<sup>2</sup> pour la puissance maximale de 1 MW du feu n°1, et une surface de 9 m<sup>2</sup> pour la puissance maximale de 3 MW du feu n°2.**

#### **Remarques sur la caractérisation de la toxicité de la fumée**

En plus des effets thermiques et de la perte de visibilité, le danger du feu pour les personnes provient de leur intoxication par les effluents du feu. Cette intoxication peut conduire à des troubles du comportement et à une altération des capacités de jugement, elle peut mener à une incapacitation ou à la mort. **Aucun critère traduisant cette intoxication n'est pourtant proposé.** La raison est que l'évaluation précise de la toxicité d'un mélange gazeux complexe et plus ou moins chaud à partir de la connaissance de la composition et de la température n'est pas envisageable à ce jour. Si l'on peut espérer connaître la quantité et le type de mobiliers envisagés dans certains ERP, la connaissance précise des matériaux constitutifs de ces mobiliers reste hors de portée. Également, si l'on peut évaluer approximativement les conséquences sur une personne d'une espèce chimique en fonction de la durée d'exposition, il est par contre très difficile de quantifier précisément l'effet global de plusieurs espèces chimiques agissant de façon concomitante et dont la proportion évolue dans l'espace et au

cours du temps. En conséquence, la production en produits toxiques n'est pas définie précisément dans les scénarios.

On examine les conditions d'enfumage et les conditions thermiques pendant 20 min, soit une durée couvrant l'évacuation des personnes et le début de l'intervention des pompiers. La puissance de feu pour ces foyers d'étude sont tracés en fonction du temps sur la figure suivante.

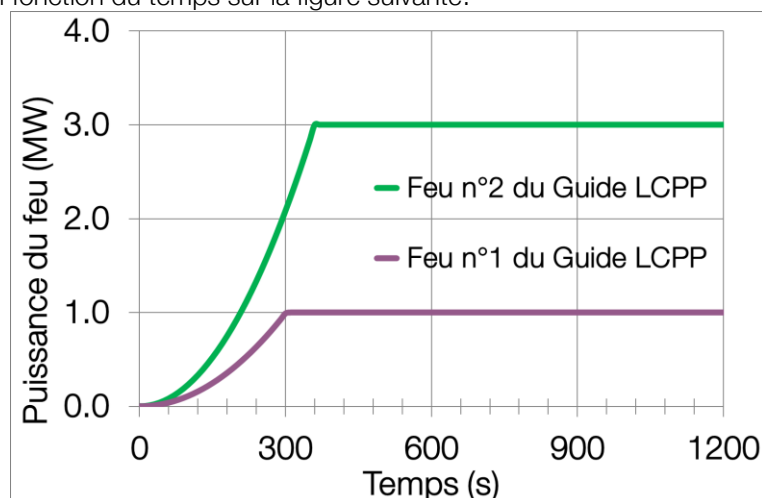


Figure 10 : Evolution temporelle de la puissance du foyer proposé sans action de lutte contre le feu

#### 4.1.2. - FEUX LIBRES - FEUX INTEGRANT L'ACTION DU SPRINKLER

Les espaces d'activité des niveaux R-2 et RDC sont protégés par un système d'extinction automatique à eau de type sprinkler. Ce système a pour objet de limiter le développement du feu. Il est composé de têtes d'aspersion dont le calepinage permet de couvrir au maximum une surface de 12 m<sup>2</sup>.

Les têtes d'aspersion sont thermofusibles : sous l'effet de la chaleur, l'ampoule éclate ce qui conduit à asperger tout élément combustible sous cette ampoule et ainsi à limiter l'extension du feu, voire à éteindre le feu. En cas de feu, l'ampoule s'échauffe au contact de la fumée : panache de fumée, fumée qui s'écoule sous le plafond ou couche de fumée déjà formée (ou encore éventuellement au contact d'une flamme). Une ampoule est caractérisée notamment par une température nominale et une rapidité de déclenchement. Dans le cas présent, les buses dans les niveaux de vente sont calibrées à 68°C. Leur réponse est dite rapide (RTI < 50).

La température du panache de fumée et plus généralement de la fumée est liée au foyer (puissance libérée, géométrie du foyer) et à la dilution de la fumée. Plus la distance entre le foyer et la tête d'aspersion est grande, plus la fumée se dilue et plus tard l'ampoule thermofusibile éclate pour libérer l'eau du système d'extinction. Comme le montre la figure ci-dessous, la température du panache de fumée d'un feu de 500 kW est de l'ordre de 200°C pour une hauteur d'entraînement de 3 m. Pour un feu de 3 MW, la température du panache est de l'ordre de 80 °C pour une hauteur d'entraînement de 15 m.

Ainsi, pour un feu qui démarre sur un des niveaux, si la tête d'aspersion se situe au-dessus du foyer, soit à une hauteur comprise entre 2,7 et 3,8 m, la température nominale d'activation est atteinte dès que le feu libère quelques centaines de kW.

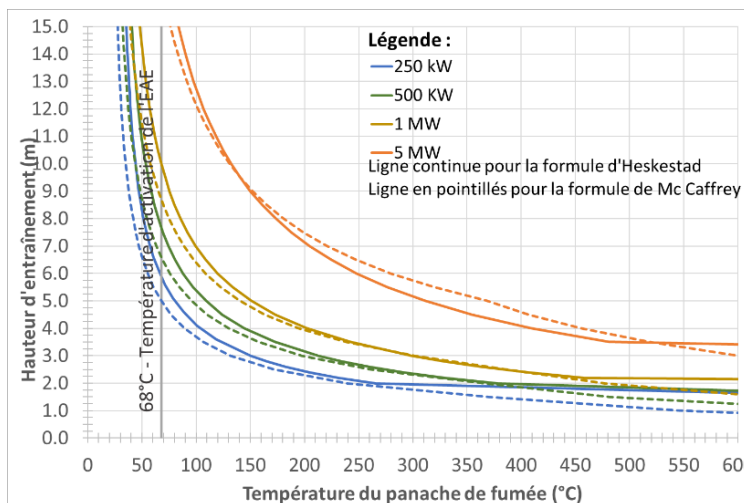
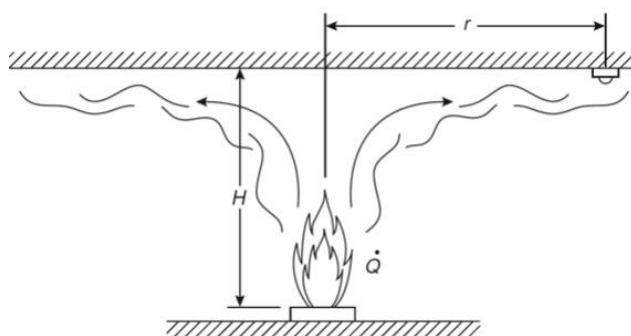


Figure 11 : Température du panache de fumée en fonction de la hauteur d'entraînement pour des feux libérant entre 250 kW et 5 MW

**Remarque :** Ces résultats sont établis avec les formules de corrélation d'Heskestad et de McCaffrey. On suppose une puissance convectée de 0,7 fois la puissance libérée. Pour la formule d'Heskestad, l'hypothèse d'un dégagement de chaleur surfacique de 500 kW/m<sup>2</sup> est faite. Diminuer ce dégagement surfacique à 300 kW/m<sup>2</sup> conduit à des résultats similaires.



Un feu peut démarrer à n'importe quel endroit d'une zone d'activité à la condition d'une source d'allumage. Il va de soi que le départ de feu peut être décalé par rapport à la tête d'aspersion. Au maximum, le point d'impact du panache se situe à 1,95 m d'une tête d'aspersion ( $r$  sur la figure ci-contre). Dans les premiers instants du feu, après que le panache de fumée ait impacté le plafond, la fumée s'écoule radialement. L'écoulement devient horizontal, sous le plafond. La température de la fumée décroît alors à mesure que l'on s'éloigne du point d'impact. Quand la couche de fumée se forme, la hauteur d'entraînement est alors au maximum la distance entre le sol et la sous-face de la couche de fumée. La fumée qui « alimente » la couche de fumée est alors plus chaude que lorsque le panache impacte le plafond.



Le délai de déclenchement de l'aspersion est piloté par l'indice de temps de réponse RTI. Autrement dit, la tête d'aspersion ne se brise pas dès lors que le gaz environnant est à sa température d'activation. Un délai plus ou moins court est nécessaire. Aussi, la tête d'aspersion commence à s'échauffer dès que la température du gaz environnant augmente i.e. dès les premiers instants du feu. Ainsi, la puissance du feu conduisant à l'éclatement de l'ampoule est plus faible si le feu croît lentement, et elle est plus grande si le feu croît rapidement.

La puissance d'un feu conduisant à l'éclatement d'une ampoule d'un système d'aspersion peut être estimée par des « calculs simples » comme préconisé dans la norme NF ISO16733-1 [7]. Plusieurs relations existent dans la littérature scientifique. Des relations supposent une puissance de feu constante ce qui revient à considérer que la tête d'aspersion est plongée dans un gaz à un instant donné et qu'elle ne s'échauffe pas au préalable. Ces relations donnent un délai d'activation pour cette valeur de puissance. C'est alors à l'ingénieur d'estimer la puissance du feu en intégrant ce délai de réponse pendant lequel le feu continue à se développer. D'autres relations comme celle d'Heskestad et Delichatsios intègrent l'histoire du feu [9]. La tête d'aspersion commence à s'échauffer dès que le feu démarre. Les cinétiques de développement « slow », « medium » et « fast » sont alors exploitées pour corrélérer la puissance du feu au temps.

Les figures ci-après représentent la puissance du feu conduisant à l'éclatement d'une ampoule d'un système d'aspersion pour une hauteur sous plafond de 2,7 m (plancher bas du niveau R-2 et niveau RDC) et 3,8 m (plancher haut du niveau R-2). La valeur de 2,7 m renvoie à la hauteur sous plafond du plancher bas au niveau R-2 et de l'espace accueil au niveau RDC. La valeur de 3,8 m renvoie à la hauteur sous plafond du plancher haut au niveau R-2. On suppose, de façon conservatrice, une hauteur d'entraînement maximale ( $H$  sur la figure précédente) égale à la hauteur sous plafond et une distance maximale entre l'impact du panache et la tête d'aspersion ( $r$  de 1,95 m sur la Figure 12) correspondant à la surface couverte par une tête.

**Remarque :** Retenir une distance maximale entre l'impact du panache et la tête d'aspersion revient à une situation où plusieurs têtes d'aspersion sont sollicitées (et non pas une seule). En considérant un calepinage en quinconce pour les niveaux (cf. schéma ci-dessous), cela renvoie à trois têtes.

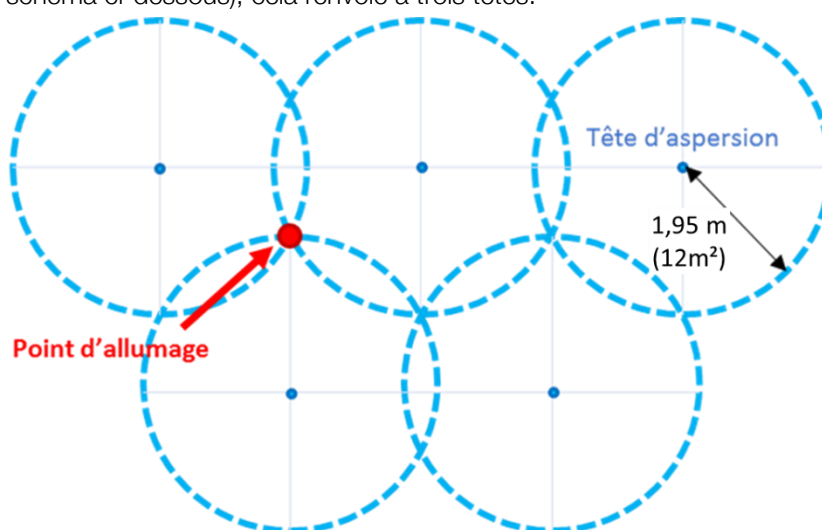
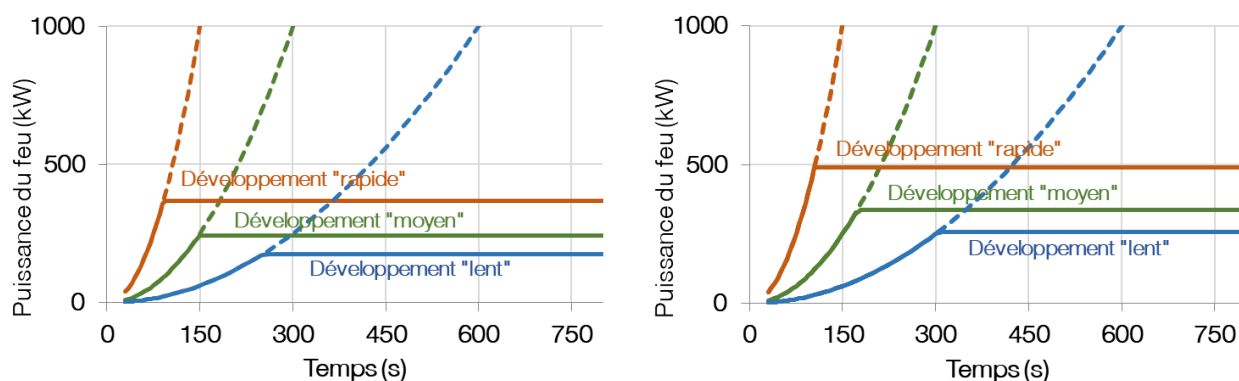


Figure 12 : Disposition des têtes pendantes dans les niveaux

Il ressort de l'analyse des courbes ci-dessous que, pour les espaces visés par l'étude, la puissance du feu conduisant au déclenchement de l'extinction automatique à eau est comprise entre :

- 176 kW et 368 kW pour une hauteur sous plafond de 2,7 m.
- 257 kW et 490 kW pour une hauteur sous plafond de 3,8 m.





Pour une hauteur sous faux-plafond de 2,7 m

Pour une hauteur sous faux-plafond de 3,8 m

Figure 13 : Puissances du feu en fonction du temps (évolution dite « lente » en bleu, « moyenne » en vert et « rapide » en orange). Les lignes continues renvoient à des puissances de feu conduisant à l'activation du système d'extinction [9], les lignes en pointillés renvoient à des feux continuant à croître

Le tableau suivant donne la valeur de puissance de feu obtenue avec et sans l'hypothèse contraignante de la majoration sur le délai de déclenchement du système d'aspersion d'eau. À titre d'indication, la dernière colonne du tableau indique la température au droit de la tête d'aspersion pour cette puissance de feu. Cette estimation est effectuée avec la formule d'Alpert [8].

HSFP	Puissance du feu à la date de déclenchement de l'EAE	Puissance du feu à la date de déclenchement de l'EAE majorée de 10%	Température min à la tête (formule d'Alpert [8])
2,7 m	368 kW	445 kW	94 °C
3,8 m	490 kW	592 kW	86 °C

Tableau 1 : Puissance de feu au déclenchement de l'EAE pour une puissance de feu croissant suivant une évolution « rapide »

On retient alors une puissance de feu de 445 kW sur une surface impliquée de 1,4 m<sup>2</sup> pour les espaces où la hauteur sous plafond est de 2,7 m et 592 kW sur une surface impliquée de 1,8 m<sup>2</sup> pour les espaces où la hauteur sous plafond est de 3,8 m.

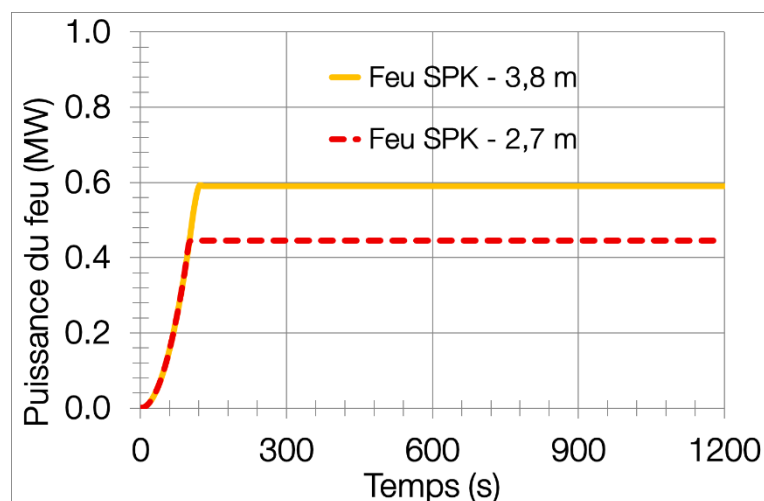


Figure 14 : Evolution temporelle des puissances de feu pour les foyers intégrant l'action de lutte contre le feu

## 4.2. - POSITIONS DES FEUX

Quatre positions de feu sont retenues (cf. Figure 15) :

- Un foyer est proposé dans le bar au niveau R-2, plancher bas (cf. Sc 1 et 5)
- Un foyer est proposé au niveau R-2, plancher haut dans un espace où peut se trouver des aménagements pour de la restauration (Sc. 2 et 6)
- Un foyer est proposé dans l'espace d'accueil au niveau RDC (Sc. 3 et 7)
- Un foyer est proposé au niveau du bar au niveau R+2, plancher bas. Ici, les aménagements sont prévus à potentiel calorifique réduit. Également, il n'y a pas d'appareil de cuisson. (Sc. 4)

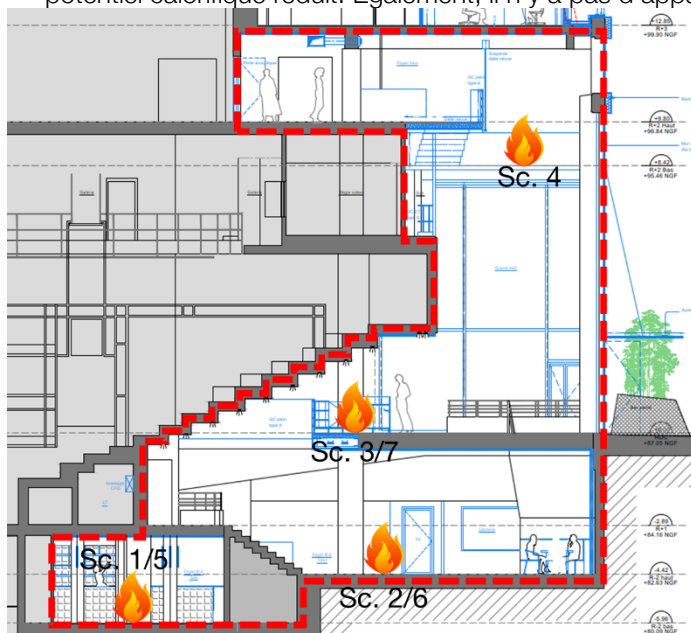


Figure 15 : Vue en coupe

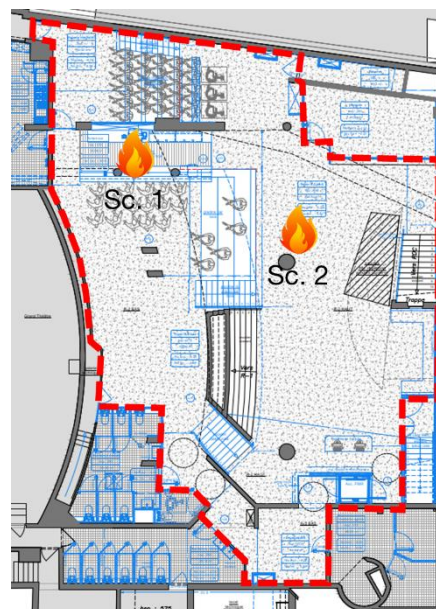


Figure 16 : Niveau R-2

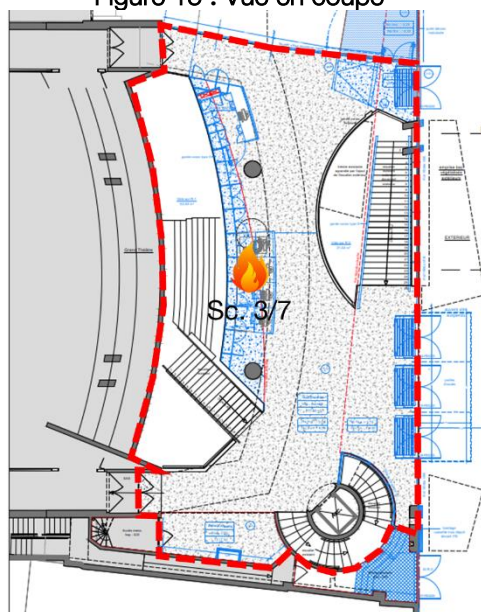


Figure 17 : Niveau RDC

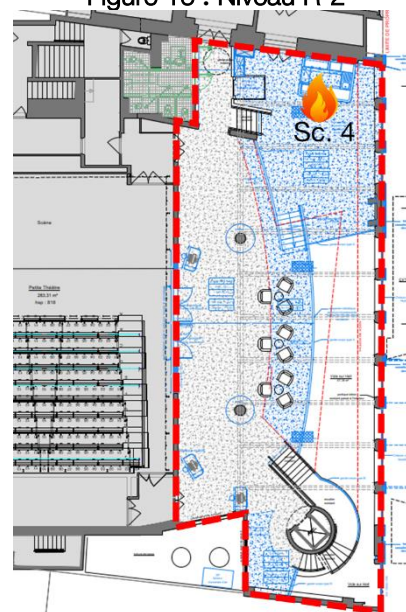


Figure 18 : Niveau R+2

## 4.3. - MISE EN ŒUVRE DU DESENFUMAGE

Le désenfumage est asservi à la détection automatique d'incendie. Il est alors déclenché lors de la sollicitation d'un détecteur. On considère que le temps de déclenchement du désenfumage est proche de 1 minute compte-tenu de la hauteur sous plafond et de la surveillance des niveaux par DAI.

Pour toutes les configurations, compte-tenu que les portes au RDC sont des dégagements en cas d'évacuation, on considère que les personnes amenées à évacuer ouvrent ces portes manuellement. Au regard de la proximité des portes (dans le volume d'étude), on considère que les portes du RDC sont ouvertes 6 min après la détection incendie, soit un délai pessimiste correspondant à la durée maximale pour le déclenchement de l'alarme générale associée à la levée de doute (5 min) et un temps de pré-mouvement (1 min).

#### 4.4. - SYNTHESE DES SCENARIOS DE FEU

Sept scénarios sont proposés pour le dimensionnement de la solution de désenfumage du volume d'étude. Ils sont numérotés de 1 à 7. Le tableau ci-après précise les caractéristiques de chaque scénario. La Figure 10 et la Figure 14 reprennent l'évolution temporelle des puissances de feu des trois foyers. La Figure 15 rappelle la position des foyers (les positions sont indiquées par des flammes jaunes). Pour tous les scénarios, la température ambiante est identique à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment, elle est égale à 20°C.

Sc.	Foyer mis en jeu	Position du foyer	Mise en œuvre du désenfumage (*)
<b>a- Scénario de feu sans considérer l'action du sprinkler</b>			
1	Feu 2 de la réf. [6] 3 MW après 6 min / surface 9 m <sup>2</sup> Taux de suie 5% / $\Delta H_c=25$ MJ/kg	Niveau R-2 plancher bas	Extraction mécanique à $t_d$ Ouverture des portes battantes à $t_d + 1$ min + 5 min
2	Feu 2 de la réf. [6] 3 MW après 6 min / surface 9 m <sup>2</sup> Taux de suie 5% / $\Delta H_c=25$ MJ/kg	Niveau R-2 plancher haut	Extraction mécanique lors de la détection Ouverture des portes battantes à $t_d + 1$ min + 5 min
3	Feu 2 de la réf. [6] 3 MW après 6 min / surface 9 m <sup>2</sup> Taux de suie 5% / $\Delta H_c=25$ MJ/kg	Niveau RDC	Extraction mécanique lors de la détection Ouverture des portes battantes à $t_d + 1$ min + 5 min
4	Feu 1 de la réf. [6] 1 MW après 5 min / surface 3 m <sup>2</sup> Taux de suie 5% / $\Delta H_c=25$ MJ/kg	Niveau R+2 plancher bas	Extraction mécanique lors de la détection Ouverture des portes battantes à $t_d + 1$ min + 5 min
<b>b – Scénarios de feu en considérant l'action du sprinkler</b>			
5	Feu SPK – 2,7 m 445 kW après 100 s / surface 1,4 m <sup>2</sup> Taux de suie 5% / $\Delta H_c=25$ MJ/kg	Niveau R-2 plancher bas	Extraction mécanique lors de la détection Ouverture des portes battantes à $t_d + 1$ min + 5 min
6	Feu SPK – 3,8 m 592 kW après 120 s / surface 1,8 m <sup>2</sup> Taux de suie 5% / $\Delta H_c=25$ MJ/kg	Niveau R-2 plancher haut	Extraction mécanique lors de la détection Ouverture des portes battantes à $t_d + 1$ min + 5 min
7	Feu SPK – 2,7 m 445 kW après 100 s / surface 1,4 m <sup>2</sup> Taux de suie 5% / $\Delta H_c=25$ MJ/kg	Niveau RDC	Extraction mécanique lors de la détection Ouverture des portes battantes à $t_d + 1$ min + 5 min

(\*) Le délai  $t_d$  sera estimé avec précision dans la seconde phase de l'étude, lorsque les simulations seront effectuées

**Tableau 2 : Caractéristiques des scénarios de feu**

## **5. - SYNTHÈSE**

Le projet concerne l'extension et la modification d'aspect extérieur du Théâtre National de la Colline à Paris. Sur le plan de la sécurité incendie, l'établissement restera classé ERP de 2<sup>e</sup> catégorie avec des activités principales de type L et des activités secondaires de types N et M.. Le Théâtre comprend un hall d'entrée (Grand Hall), s'élevant du niveau R-2 au niveau R+2. Par ce hall, il est possible d'accéder, pour le public, aux autres espaces du bâtiment (Petit et Grand Théâtres et librairie).

Le grand hall pose question vis-à-vis de l'application des dispositions réglementaires en matière de sécurité incendie, et plus particulièrement concernant le dimensionnement de son désenfumage. En effet, il ne correspond pas aux configurations type figurant dans les instructions techniques IT246 et IT263 : il ne répond pas aux dimensions d'un atrium, il met en communication plusieurs niveaux, sa géométrie est complexe et les trémies de communication entre niveaux ne se trouvent pas à l'aplomb.

La présente note a pour objet la présentation des hypothèses et des scénarios d'étude que le LISI propose, ainsi que la méthode employée pour les définir. À ce titre, elle répond aux exigences de l'article DF4§2 du règlement portant approbation de dispositions complétant et modifiant le règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public (dispositions relatives au désenfumage). Conformément aux exigences réglementaires, cette note est soumise pour avis à la Commission Départementale de Sécurité de Paris (75).

Après avis favorable de ladite commission, la phase suivante de l'ingénierie du désenfumage consistera à simuler numériquement les conditions dans le volume d'étude pour les scénarios validés. La performance du désenfumage sera alors établie. Cette seconde phase sera visée par une seconde note, elle-même soumise pour avis à la Commission Départementale de Sécurité de Paris.