



Strassen, mars 2012

Le présent texte a été établi par l'Inspection du Travail et des Mines et  
le Service Incendie et Ambulance de la Ville de Luxembourg.

**ITM-SST 1552.1**

## **Prescriptions de prévention incendie**

### **INSTRUCTION TECHNIQUE**

#### **Conception du désenfumage**

#### **Calcul des installations d'évacuation de fumées et de chaleur (EFC)**

*Le présent document comporte 44 pages*

#### **SOMMAIRE**

<b>Article</b>		<b>Page</b>
1)	<b>Objectif et domaine d'application</b>	2
2)	<b>Définition</b>	3
3)	<b>Prescriptions</b>	4
4)	<b>Analyse des risques liés à la fumée</b>	5
5)	<b>Choix des règles de conception</b>	6
6)	<b>Choix des scénarios courants d'incendie</b>	32
7)	<b>Choix de la méthode de dynamique des fluides CFD</b>	33
8)	<b>Procédure de validation et de contrôle</b>	41
9)	<b>Transposition des hypothèses de dimensionnement et des résultats de calcul dans les documents d'exécution et d'exploitation</b>	44

## **Article 1. - Objectifs et domaine d'application**

La présente Instruction Technique a pour but d'aider l'applicateur à comprendre les choix à faire et à choisir les données de base de conception et de calcul d'une installation de désenfumage appelée ci-après EFC (Evacuation de Fumées et de Chaleur).

Les gaz et fumées de combustion produits par tout foyer d'incendie se mélangent à de l'air ambiant dans son voisinage. Le mélange gazeux ainsi formé, dilaté par la chaleur, est plus léger que l'air ambiant, et s'élève en panache au-dessus du foyer.

La masse gazeuse du panache de fumée augmente progressivement en hauteur avec entraînement d'air ambiant, par suite de l'effet du frottement de la fumée (en mouvement ascensionnel) sur l'air ambiant à la périphérie du panache.

Le mouvement ascensionnel de la fumée se poursuit jusqu'à être empêché par la présence d'une paroi horizontale étanche aux fumées (plancher, faux-plafond, écran, etc.), qui a pour effet de dévier la fumée horizontalement. La fumée prolonge son mouvement en s'étalant sous la paroi horizontale dans toutes les directions possibles, jusqu'à rencontrer une paroi verticale qui la dévie à son tour vers le bas.

Une couche de fumée (plus chaude, donc plus légère que l'air ambiant qui est en-dessous) se forme ainsi au plafond et s'épaissit progressivement au fur et à mesure qu'elle est alimentée par le développement de la masse gazeuse produite par le foyer.

Une installation EFC a généralement pour but de rendre libre de fumées les itinéraires requis pour l'évacuation des occupants et l'accès des services d'incendie et de sauvetage. D'autre part une installation EFC peut aussi avoir comme but d'éviter une propagation généralisée de la fumée. Plusieurs options de conception sont possibles :

1. Une première option consiste à maintenir une hauteur libre de fumée suffisante au-dessus du sol pour permettre le déplacement de personnes sous la couche de fumée pendant un temps suffisant pour l'évacuation des occupants et pour l'intervention des services d'incendie et de sauvetage. Dans cette option de conception, il s'agit de stabiliser la couche de fumée à une hauteur suffisante en l'évacuant, soit par ventilation naturelle, soit par ventilation mécanique.
2. Lorsque la hauteur sous plafond du local est trop faible pour stabiliser la couche de fumée à une hauteur suffisante, une alternative à cette première option consiste à créer le débit d'air de ventilation mécanique horizontale nécessaire pour s'opposer au mouvement horizontal des fumées, et à maintenir ainsi, dans la direction de provenance de l'air frais de ventilation, un itinéraire horizontal libre de fumée permettant l'évacuation des occupants et l'accès des services d'incendie et de sauvetage à une distance suffisamment proche du foyer pour l'intervention.
3. Pour un volume libre intérieur du type "Atrium", c'est-à-dire un volume disposé comme une cour ou une rue intérieure, recouvert ou non et entouré par des niveaux à destinations des plus variés on donne les principes et règles empiriques de bonne pratique. Cela permet d'obtenir pour un désenfumage naturel les ouvertures  $A_V$  en partie haute de l'atrium, et pour un désenfumage mécanique le volume de fumée à extraire par unité de temps.  
Les ouvertures d'aménée d'air  $A_I$  sont à réaliser en partie basse de l'atrium.
4. Pour des petits espaces tels que des cages d'escaliers, des locaux sans ouvertures extérieures (locaux techniques, petites salles recevant du public, etc.), ou des locaux à risques particuliers (réserves, stockage, archives, etc.) on donne les principes et règles

empiriques de bonne pratique qui se réfèrent au désenfumage naturel, au désenfumage mécanique ou à la mise à l'abri des fumées par surpression des locaux en question.

Dans certains cas on peut considérer que le local est un espace ouvert à l'air libre et que donc la ventilation naturelle permanente suffit, comme par exemple dans le cas des parkings ouverts (voir ITM-SST 1506.1) ou d'un grand atrium pour lequel la toiture est ouverte sur au moins 50 % de la surface et la hauteur est inférieure à la plus grande dimension en plan.

Par ailleurs, les corps de pompiers peuvent disposer de matériels mobiles de désenfumage. Ceci ne dispense pas de réaliser les installations EFC fixes décrites dans les présentes prescriptions et dont le but premier est la sécurité des personnes avant l'arrivée des pompiers.

Généralement le volume à désenfumer doit comprendre dans sa partie haute les ouvertures d'évacuation des fumées et en partie basse les ouvertures d'aménée d'air. Un faux-plafond entravant la libre circulation des fumées vers les ouvertures d'évacuation, situées entre le faux-plafond et le plancher supérieur, n'est pas autorisé si le faux-plafond présente moins de 25% d'ouvertures uniformément réparties, sauf si une approche d'ingénierie conforme à l'article 5.7 prouve que l'évacuation des fumées permet l'évacuation des personnes et l'intervention du service d'incendie et de sauvetage.

## **Article 2. - Définitions**

- **foyer stationnaire:** le foyer stationnaire est le plus grand incendie à prendre en considération pour le calcul d'un scénario. La forme du foyer est conventionnellement de forme carrée ce qui donne la surface  $A_f [m^2]$  du foyer stationnaire.
- **débit massique de fumée  $M_f [ks/s]$ :** le débit massique de fumée est la masse de fumée entrant dans la couche de fumée par unité de temps.
- **hauteur libre de fumée  $Y [m]$  :** distance verticale entre le niveau du sol le plus bas et la face inférieure de la couche de fumée ; cette hauteur est considérée comme libre de fumée si la toxicité des fumées et la visibilité subsistante dans les chemins de fuite sont conformes aux critères de l'ITM-SST 1553.1E.
- **installation EFC naturelle :** installation d'évacuation de fumées et de chaleur (EFC) constituée exclusivement d'ouvertures permanentes ou activées en cas d'incendie (exutoires de fumée et entrées d'air fonctionnant exclusivement de façon naturelle).
- **installation EFC mécanique :** installation EFC utilisant des extracteurs mécaniques pour l'évacuation de la fumée et de la chaleur ; les entrées peuvent être naturelles ou mécaniques.
- **exutoire de fumée et de chaleur (exutoire EFC):** ouverture débouchant à l'air libre évacuant la fumée et les gaz chauds par tirage naturel. L'exutoire EFC s'étend à toute l'épaisseur de la toiture, jusqu'à la face inférieure du faux-plafond. Lorsque le faux-plafond présente plus de 25% d'ouvertures uniformément réparties, l'exutoire s'étend jusqu'à la face inférieure de la toiture.
- **extracteur de fumée et de chaleur (extracteur EFC):** ventilateur évacuant mécaniquement la fumée et les gaz chauds vers l'air libre.
- **surface aérodynamique d'une entrée d'air  $A_{IC} [m^2]$  :** section utile de l'ouverture pour l'introduction de l'air.
- **surface géométrique d'une entrée d'air  $A_I [m^2]$ :** section libre de l'ouverture d'introduction d'air, déduction faite de tout obstacle au passage de l'air.

- **surface aérodynamique d'un exutoire de fumée  $A_{vCv}$  [m<sup>2</sup>]**: section utile de l'ouverture d'un exutoire de fumée déterminée suivant la norme EN 12101-2.
- **surface géométrique d'un exutoire de fumée  $A_V$  [m<sup>2</sup>]** : section libre de l'ouverture d'un exutoire de fumée, déduction faite de tout obstacle au passage de la fumée.
- **débit des extracteurs de fumée  $V_{Tc}$  [m<sup>3</sup>/s]** : débit de fumée de température  $T_c$  à extraire par ventilation mécanique d'un canton de fumée.

NB: Pour l'ensemble des définitions non reprises aux endroits précis de cette Instruction Technique-ci ITM-SST 1552, on se réfère aux documents CEN TR 12101-5, ainsi que TS/EN 12101-11 et TS/EN 12101-12 en élaboration.

### **Article 3. - Prescriptions**

Les prescriptions ITM définissent des exigences en matière de désenfumage en termes généraux et renvoient aux normes européennes de la série EN 12101 pour la conception et le calcul des installations.

Les normes européennes en matière de désenfumage sont établies par le CEN (Comité européen de normalisation) au sein duquel le Luxembourg est représenté par l'ILNAS (Institut Luxembourgeois de la Normalisation, de l'Accréditation, de la Sécurité et qualité des produits et services).

Le CEN établit 3 types de documents qui sont publiés par les organismes nationaux de normalisation membres:

- les normes européennes EN (remplacent obligatoirement les normes nationales sur le même sujet),
- les spécifications techniques CEN/TS (publication facultative comme norme nationale, à l'exemple d'une norme ISO) et
- les rapports techniques CEN/TR (document informatif).

Pour les installations EFC, on dispose d'un ensemble de 12 normes européennes (EN 12101) ou rapports techniques du CEN (CEN/TR 12101) qui peuvent être utilisées au Grand Duché :

EN 12101-1 : smoke barriers

- EN 12101-2 : natural smoke and heat exhaust ventilators
- EN 12101-3 : powered smoke and heat control ventilators
- TR 12101-4 : installations
- TR 12101-5 : recommendations and calculation methods (steady state fires)
- EN 12101-6 : pressure differential systems – Kits
- EN 12101-7 : smoke duct sections
- EN 12101-8 : smoke control dampers
- EN 12101-9 : control panels
- EN 12101-10 : power supplies
- TS/EN 12101-11 : car parks (en élaboration)
- TS/EN 12101-12 : recommendations and calculation methods (time dependent fires) (en élaboration)
- prEN 12101-13 : testing and maintenance (en élaboration).

*NOTE : L'application des documents précités suppose d'accepter des données de base définissant le foyer (dimensions, puissance en kW/m<sup>2</sup>) pour lesquelles l'installation EFC est dimensionnée pour un feu stationnaire – « steady state fire » (Tableau 1 du TR 12101-5) ou un feu évolutif « time dependent fires » (TS/EN 12101-12). Ces données couvrent les cas de commerces, bureaux, chambres d'hôtels et parkings ; elles devraient être complétées pour les autres applications courantes (usines, stockages, etc.).*

## **Article 4. - Analyse des risques liés à la fumée**

Les installations EFC sont à dimensionner pour permettre l'évacuation des personnes et l'intervention du service d'incendie et de sauvetage, en fonction de la production de la masse de fumée, du volume du canton de fumée ainsi que de la hauteur libre de fumée requise.

### **4.1 Risques liés à l'évacuation des personnes.**

Le temps nécessaire à l'ensemble des occupants pour évacuer ou temps requis  $t_{req}$  peut se situer autour de 10 minutes pour les bâtiments courants. Notons que le temps  $t_{req}$  s'appelle RSET, " Required Safe Escape or Egress Time", selon les "Guidelines CFPA-E N°19:2009" de la "Confederation of Fire Protection Associations in Europe".

Cela exige l'estimation de la toxicité des fumées et de la visibilité subsistante dans les chemins de fuite et donne le temps maximum disponible  $t_{dis}$  permettant encore une évacuation. Ce temps s'appelle aussi ASET, "Available Safe Escape or Egress Time", selon la CFPA-E.

Notons qu'en cas d'un incendie la visibilité subsistante dans les couloirs ainsi que dans les locaux à désenfumer doit être telle que chaque occupant puisse repérer la ou les sorties les plus proches et que les sapeurs-pompiers puissent voir aisément une personne à sauver et trouver le foyer de l'incendie dans tout local sinistré.

Ainsi la visibilité pendant la durée de l'évacuation, et du sauvetage le cas échéant, des personnes doit être telle qu'elle ne soit pas inférieure à la distance qui sépare n'importe quel endroit d'un volume à désenfumer de la ou des sorties les plus proches, sans toutefois être inférieure à 35 mètres.

### **4.2 Risques liés à l'intervention du service d'incendie et de sauvetage.**

Le temps nécessaire aux pompiers pour arriver sur les lieux du sinistre se situe en moyenne autour de 15 minutes.

L'intervention du service d'incendie et de sauvetage nécessite, pour éteindre le feu, un temps  $t_{ext}$ , généralement plus long que  $t_{dis}$ .

La température dans la couche de fumée sera comparée à la température de l'air au-dessus de laquelle la stabilité de la structure portante n'est plus garantie. Le temps critique correspondant  $t_{st}$  doit rester supérieur à  $t_{dis}$  et à  $t_{ext}$ , et les installations EFC sont à dimensionner en conséquence.

Ce qui veut dire qu'il faut respecter  $t_{req} < t_{dis} < t_{ext} < t_{st}$ . (1)

Pour estimer la toxicité des fumées et la visibilité subsistante dans les chemins de fuite et pour l'intervention du service d'incendie et de sauvetage, ainsi que pour évaluer les temps  $t_{req}$  ( $\equiv$ RSET) et  $t_{dis}$  ( $\equiv$ ASET) les critères à respecter sont définis dans le projet ITM-SST 1553. Le temps  $t_{st}$  peut être calculé à l'aide des prescriptions ITM-SST 1551.

### **4.3 Risques restants**

Pour la détermination du temps requis  $t_{req}$  et pour le dimensionnement de l'installation de désenfumage EFC l'autorité compétente peut exiger qu'une des sorties de secours soit considérée comme non praticable, ou que l'installation de sprinklage soit considérée comme défectueuse.

## **Article 5. - Choix des règles de conception**

### **5.0 Généralités**

#### **5.0.1 Implantation des évacuations de fumées et des amenées d'air**

5.0.1.1 Les amenées d'air et les évacuations de fumées doivent être implantées en considérant, dans la mesure du possible, l'orientation des vents dominants. Les évacuations de fumées doivent être implantées de manière à ce qu'aucun élément de construction ou aménagement ne gêne l'écoulement des fumées.

5.0.1.2. Le débouché des exutoires et des conduits d'évacuation doit se trouver en dehors des parties de couverture pour lesquelles une protection particulière est demandée. De plus, ces débouchés doivent être situés à une distance horizontale de 4 mètres au moins des baies de bâtiments tiers.

5.0.1.3. Les prises extérieures d'air neuf ne peuvent pas être situées dans une zone susceptible d'être enfumée.

5.0.1.4 Sauf dispositions spéciales mentionnées ci-après, l'évacuation des fumées d'un canton se fait en tirage naturel par des ouvertures de désenfumage situées dans le plafond de ce canton et, en cas d'extraction mécanique, par des bouches extrayant dans la partie haute enfumée du canton. Ces dispositifs doivent être conçus et disposés pour éviter l'entraînement, à travers la couche de fumées, d'air aspiré depuis la zone libre de fumées du canton.

#### **5.0.2 Caractéristiques des équipements de désenfumage**

5.0.2.1 Les commandes manuelles doivent assurer le fonctionnement du désenfumage dans la zone de désenfumage concernée. Dans le cas d'évacuation de fumée et d'amenées d'air, leur ouverture doit être obtenue simultanément à partir du même organe à manipuler du dispositif de commande.

5.0.2.2 De manière générale, le désenfumage de la zone de fumée doit être commandé automatiquement par la détection incendie installée dans le volume correspondant. Cette commande automatique est doublée par la commande manuelle. La commande automatique des dispositifs de désenfumage des autres parties du bâtiment desservies par le même réseau de désenfumage est neutralisée, tant que n'a pas disparu la cause ayant provoqué la mise en route initiale. Toutefois, le désenfumage des autres parties du bâtiment doit pouvoir être commandé manuellement.

5.0.2.3 En exploitation normale, le réarmement c'est-à-dire la fermeture des exutoires, ouvrants ou volets, doit être possible à partir du sol de la zone de fumée ou à partir de la centrale de surveillance.

#### **5.0.3 Interaction entre sprinklers et désenfumage**

En cas d'existence simultanée dans un même compartiment d'une installation de sprinklage et d'une installation d'évacuation de fumées et de chaleur, il faut analyser les effets réciproques pouvant engendrer un fonctionnement non correct.

Un sprinklage par gouttelettes suffisamment grosses est notamment à prévoir, ainsi qu'une vitesse d'air d'extraction suffisamment faible au début de l'incendie.

## 5.0.4 Effets du vent

Les effets du vent sur l'écoulement des fumées hors des exutoires et sur les amenées d'air vers l'intérieur sont à considérer lors du dimensionnement d'une installation de désenfumage EFC. Les autorités publiques compétentes peuvent exiger de réaliser des essais sur modèle réduit.

### **5.1 Grands locaux non cloisonnés s'étendant sur un niveau**

#### **5.1.1 Conditions générales**

Les conditions générales d'utilisation suivantes sont à respecter et il est conseillé de les étudier avant de se lancer dans un calcul détaillé explicité au chapitre suivant 5.1.2.

Pour information il est clarifié que les règles de ces deux chapitres-ci proviennent de la NBN S21-208-1 de 1995, elle-même apparentée à la BS 7346-4:2003 et au Rapport Technique CEN/TR 12101-5 de mai 2000. Cette dernière est actuellement en voie d'être intégrée dans le nouveau document CEN TS/EN 12101-12, " Requirements and calculation methods for smoke and heat exhaust systems, employing time-dependent design fires", qui deviendra opérationnel vers 2013.

Les règles présentées ici resteront d'application jusqu'au moment où la nouvelle norme CEN 12101-12 sera publiée.

5.1.1.1 Le dimensionnement d'une installation EFC par la méthode présente est limitée à un compartiment ne dépassant pas  $2000\text{ m}^2$ , ou si cette surface est supérieure à cette valeur il faut qu'elle soit subdivisée en cantons de fumée ne dépassant pas  $2000\text{ m}^2$  chacun. Notons que la longueur d'un canton de fumée ne pourra dépasser 60 m.

5.1.1.2 Les écrans de fumée limitant un canton de fumée doivent descendre jusqu'à 0,5 m en dessous du niveau inférieur de la couche de fumée calculée.

5.1.1.3 L'installation EFC (exutoires ou extracteurs, entrées d'air et écrans de fumée) doit être activée par une installation de détection automatique de fumée agréée. L'activation doit également être possible par une commande manuelle à proximité du canton sinistre.

5.1.1.4 La surface libre des évacuations de fumée est réalisée par des exutoires de fumée en toiture. Lorsque le désenfumage de locaux de surface  $< 300\text{ m}^2$  est exigé, il peut être réalisé par des ouvrants en façade, en alternative aux ouvertures dans le plafond. Dans ce cas, la surface libre prise en compte pour le désenfumage doit se trouver dans la moitié supérieure du local, être à plus de 1,8 m du plancher et avoir une surface libre double de celle nécessaire pour des exutoires au plafond.

5.1.1.5 Le dimensionnement du désenfumage est basé sur un foyer stationnaire pour lequel on admet, dans des bâtiments courants (sprinklés ou non sprinklés), les valeurs sécuritaires suivantes pour la puissance ou le débit calorifique par unité de surface du foyer :

$$\begin{aligned}\mathbf{RHR_f = 250\text{ kW/m}^2 \text{ pour le désenfumage naturel et}} \\ \mathbf{RHR_f = 500\text{ kW/m}^2 \text{ pour le désenfumage mécanique.}}\end{aligned}$$

Dans les cas de surfaces de vente et parkings fermés (sprinklés ou non sprinklés) les valeurs du tableau 1 suivant doivent être utilisées.

Dans le cas de bâtiments de stockage, des valeurs plus élevées sont à considérer, suivant par exemple l'Annexe B de la NBN S21-208-1.

*NOTE 1 : Les valeurs de  $RHR_f$  ci-dessus ne sont pas nécessairement les mêmes que les valeurs sécuritaires considérées pour le calcul de la résistance sous feu naturel.*

*NOTE 2 : Les valeurs de  $RHR_f$  ci-dessus sont des valeurs sécuritaires ;*

- inférieure pour le désenfumage naturel, étant donné que la température favorise le tirage naturel et qu'une basse température des fumées nécessite plus d'ouvertures d'évacuation de fumée, et
- supérieure pour le désenfumage mécanique, vu que le débit volumique à extraire augmente avec la température, et donc demande des débits d'extraction plus élevés.

**Tableau 1: Valeurs par défaut d'incendies stationnaires**

(sources - CEN/TR 12101-5 et norme en élaboration CEN TS/EN 12101-11)

Usage	Périmètre d'incendie $W_f$ (m)	Surface d'incendie $A_f$ (m <sup>2</sup> )	Débit calorifique par unité de surface du foyer $RHR_f$ (kW/m <sup>2</sup> )
<b>Surface de vente</b>			
* sprinkleurs standard	12	9	625
* sprinkleurs rapides	9	5	625
* sans sprinkleurs <sup>1)</sup>	largeur d'ouverture vers la galerie	pièce entière	1200
<b>Parking fermé</b>			
* sprinkleurs standard	14	12 (1 voiture)	330
* sans sprinkleurs	20	24 (2 voitures)	330

1) Uniquement pour des surfaces de vente s'ouvrant sur une galerie commerciale et séparée des surfaces voisines par des parois résistantes au feu.

5.1.1.6 La hauteur libre de fumée Y doit être au moins de 2,5 m pour que l'évacuation des occupants et l'intervention des secours soit possible, à condition que la température moyenne des gaz de la couche de fumée  $t_c$  reste inférieure à 200°C. Toutefois, si l'alarme d'évacuation est activée automatiquement et sans délai dès que la détection est confirmée, la température de la couche de fumée peut dépasser 200°C, à condition qu'elle reste inférieure à 300°C.

*NOTE : Ceci tient compte du fait que l'évacuation du compartiment est généralement achevée après environ 10 minutes, alors que le feu n'est pas encore entièrement développé. Passé ce délai, la température de la couche de fumée obtenue par les équations (5) et (7) peut être nettement supérieure à 300°C.*

5.1.1.7 L'entrée d'air doit se faire par des ouvertures à bas niveau, portes ou fenêtres, soit par les exutoires des cantons autres que celui en feu et doivent s'ouvrir simultanément et automatiquement lorsque les exutoires ou extracteurs de fumées du canton en feu sont actionnés.

5.1.1.8 Dans un même canton de fumée il n'est pas permis d'utiliser simultanément exutoires et extracteurs de fumée.

## 5.1.2 Détails de calcul

### 5.1.2.1 Choix de la catégorie d'usage

La catégorie d'usage est déterminée à partir des tableaux 2 et 3 en se servant de l'Annexe A de la norme NBN S 21-208-1, qui attribue aux différents établissements un risque d'incendie léger (L), normal (N1 à N4), élevé en fabrication (D1 à D4) ou élevé en stockage (S1 à S4), auxquels correspondent, suivant la norme EN 12845 "Systèmes d'extinction automatique du type sprinkleur", respectivement les risques légers LH (light hazard), normaux OH1 à OH4 (ordinary hazard), élevés en fabrication HHP1 à HHP4 (high hazard production) ou élevés en stockage HHS1 à HHS4 (high hazard storage).

**Tableau 2: Risque élevé en stockage (S1 à S4) menant aux catégories de stockage SC1 à SC4 selon la NBN S21-208-1**

Emballages		Matériaux stockés			
		S1	S2	S3	S4
C1	incombustibles, éventuellement posés sur palette en bois	SC1	SC2	SC3	SC4
C2	en papier, carton, carton ondulé, bois ou matière plastique, à l'exclusion des mousses plastiques éventuellement posées sur palette en bois	SC2	SC2	SC3	SC4
C3	non repris en C1 ou C2	SC3	SC3	SC3	SC4

*Note: Dans ce tableau les emballages sont détaillés ; pour les matériaux stockés S1 à S4, voir Annexe A de la NBN S 21-208-1.*

**Tableau 3: Risque d'incendie léger (L), risque normal (N1 à N4), risque élevé en fabrication (D1 à D4) ou catégories de stockage (SC1 à SC4) menant aux catégories d'usage 1 à 4 ainsi qu'à la hauteur critique de stockage**

Catégories d'usage	Espaces à protéger				Hauteur critique de stockage	
	Risque léger	Risque normal	Risque élevé			
			Fabrication	Stockage		
Catégorie 1	L(LH)	N1(OH1)	----	SC1(HHS1)	4 m	
Catégorie 2	---	N2(OH2)	----	SC2(HHS2)	3 m	
Catégorie 3	---	N3(OH3)	----	SC3(HHS3)	2,1 m	
Catégorie 4	---	N4(OH4)	D1 à D4 (HHP1 à HHP4)	SC4(HHS4)	1,2 m	

*Note 1: Les indications entre parenthèses correspondent aux abréviations reprises dans la norme EN 12845 "Systèmes d'extinction automatique du type sprinkleur". En alternative au tableau 3 ci-dessus, la détermination des catégories d'usage pour les risques élevés en stockage peut être réalisée en utilisant la méthodologie de classement en risque HHS1 à HHS4 de la norme EN 12845.*

*Note 2: La hauteur critique de stockage est la hauteur à ne pas dépasser dans les risques LH et OH1 à OH4 ; en cas de dépassement, il y a lieu d'utiliser les règles de la norme EN 12845 correspondant aux classes HHS.*

Des règles particulières sont données aux équations (8) et (13) pour tenir compte de l'effet des sprinkleurs. Au cas où la hauteur de stockage est supérieure à la hauteur critique donnée au tableau 3, il est vivement recommandé de prévoir une installation de sprinklage sous la toiture et dans les rayonnages. Pour obtenir les dimensions normalisées du foyer dans le cas d'espaces avec stockage en hauteur, il est recommandé de se référer aux chapitres 4.2.1 à 4.2.3 de la NBN S21-208-1 (à revoir en fonction de l'élaboration de la TS/EN 12101-12).

### 5.1.2.2 Détermination des dimensions normalisées du foyer

La catégorie d'usage déterminée ci-devant est introduite dans le tableau 4 et donne de la sorte les dimensions normalisées du foyer stationnaire.

**Tableau 4: Dimensions normalisées du foyer pour espaces sans stockage ou stockage bas en rayonnage**

Catégorie d'usage	Dimensions du foyer	Périmètre W <sub>f</sub>	Surface A <sub>f</sub>
Catégorie 1	3 m x 3 m	12 m	9 m <sup>2</sup>
Catégorie 2	4,5 m x 4,5 m	18 m	20,25 m <sup>2</sup>
Catégorie 3	6 m x 6 m	24 m	36 m <sup>2</sup>
Catégorie 4	9 m x 9 m	36 m	81 m <sup>2</sup>

### 5.1.2.3 Détermination des surfaces aérodynamiques des exutoires EFC et des entrées d'air (désenfumage naturel)

5.1.2.3.1 La surface aérodynamique des entrées d'air d'un canton de fumée doit être au moins égale à 1,5 fois la surface aérodynamique d'évacuation c'est-à-dire des exutoires de fumée du même canton

$$A_I \cdot C_I \geq 1,5 (A_V \cdot C_V) \quad (2)$$

où:

A<sub>I</sub> est la surface géométrique des entrées d'air (m<sup>2</sup>)

C<sub>I</sub> est le coefficient aérodynamique des entrées d'air

A<sub>V</sub> est la surface géométrique des exutoires de fumée (m<sup>2</sup>)

C<sub>V</sub> est le coefficient aérodynamique des exutoires de fumée

Les entrées d'air doivent être des ouvertures en partie basse du local. Dans le cas de plusieurs cantons de fumée, les exutoires des cantons autres que celui en feu peuvent servir d'entrée d'air. Toutefois, dans le cas de seulement deux cantons, les exutoires du canton autre que

celui en feu ne suffisent pas et des entrées d'air supplémentaires en partie basse sont nécessaires.

*NOTE : Le coefficient 1,5 est donné au paragraphe 5.5 de la DIN 18232-2, alors que la BS 7346-4:2003, au paragraphe F.5, préconise que la méthode que voici n'est plus d'application si  $A_I \cdot C_I$  n'est pas beaucoup plus grand que  $A_V \cdot C_V$ . Notons que le Rapport Technique CEN/TR 12101-5 confirme cette dernière règle. Dans le cas où  $A_I \cdot C_I < 1,5 (A_V \cdot C_V)$ , il faut avoir recours à une méthode d'ingénierie selon le paragraphe 5.7.*

5.1.2.3.2 Le coefficient aérodynamique  $C_V$  est à fournir par le fabricant des exutoires de fumée suivant la méthode d'essai décrite dans la norme EN 12101-2.

5.1.2.3.3 Le coefficient aérodynamique  $C_I$  des entrées d'air peut être choisi selon le tableau 5 basé sur la DIN 18232-2 (Tabelle 1, 2003).

**Tableau 5: Coefficients aérodynamiques  $C_I$  des entrées d'air**

Type d'ouverture	Angle d'ouverture	Coefficient $C_I$
Porte ouverte	90°	0,7
Jalousies ouvertes	90°	0,65
Fenêtre ouverte	90°	0,65
	≥60°	0,5
	≥45°	0,4
	≥30°	0,3

5.1.2.3.4 Le calcul de la surface aérodynamique  $A_V \cdot C_V$  est réalisé comme suit :

- La masse de fumée entrant dans la couche de fumée par unité de temps ou débit massique de fumée  $M_f$  est donné par

$$M_f = 0,188 W_f(Y)^{1,5} \quad [\text{kg/s}] \quad (3)$$

où  $W_f$  est le périmètre du foyer [m], extrait du tableau 4,  
 $Y$  est la hauteur libre de fumée [m].

*NOTE 1 : Il s'agit d'une équation empirique qui fut analysée par P.L. Hinkley et comparée à d'autres formules et à des résultats de tests de désenfumage (Fire Safety Journal, 10, 1986).*

*La formule est en pratique applicable pour les grands locaux (auditoires, stades, grands bureaux paysagers, atriums, etc.).*

*NOTE 2 : Pour les petits locaux où la charge calorifique est plus faible (petits locaux définis au 5.4), on peut utiliser l'équation  $M_f = 0,337 W_f(Y)^{1,5}$*

- Le flux de chaleur convectif  $Q_f$  des gaz de combustion est donné par

$$Q_f = \alpha \cdot RHR_f \cdot A_f \quad [\text{kW}] \quad (4)$$

où  $\alpha$  est la part convective du flux de chaleur total prise égale à 0,7 sauf dans le cas de stockage en hauteur sprinklé où il est pris égal à 0,5.

$RHR_f$  est la puissance ou débit calorifique par unité de surface du foyer  
[kW/m<sup>2</sup>], donnée en 5.1.1.5,

$A_f$  est la surface du foyer, extraite du tableau 4.

- La différence de température  $\Delta\theta_c$  entre la température moyenne des gaz entrant dans la couche de fumée et la température ambiante se calcule par

$$\Delta\theta_c = Q_f / (M_f \cdot c_f) \quad [K] \quad (5)$$

où  $c_f$  est la chaleur spécifique de l'air qui pour une température moyenne de 300°C vaut 1,05 kJ/kg K

- La surface aérodynamique  $A_v \cdot C_v$  des exutoires de fumée dans un canton de fumée est obtenue par la relation :

$$A_v \cdot C_v = M_f [ T_c^2 + (A_v C_v / A_l C_l)^2 T_o T_c ]^{0,5} / \rho_0 [2g \cdot d_b \cdot \Delta\theta_c \cdot T_o]^{0,5} \quad [m^2] \quad (6)$$

*NOTE : Cette formule a été développée par Thomas P.H. & al en 1963 dans sa publication "Investigations into the Flow of hot Gases in Roof Venting, Appendix III. formula (95)"*

où  $T_o$  est la température thermodynamique ambiante dans l'espace intérieur avant l'incendie donnée par  $(15 + 273) = 288$  K

$T_c$  est la température thermodynamique moyenne de la couche de fumée, donnée par

$$T_c = (T_o + \Delta\theta_c) \quad [K] \quad (7)$$

$$\text{en cas de sprinklage, } T_c = 1,5 \cdot t_s + 273K \quad (8)$$

où  $t_s$  est la température d'activation des sprinkleurs en °C,

$\rho_0$  est la masse volumique de l'air donnée à 15°C par 1,25 kg/m<sup>3</sup>,

$g$  est l'accélération de la gravité terrestre 9,81m/s<sup>2</sup>,

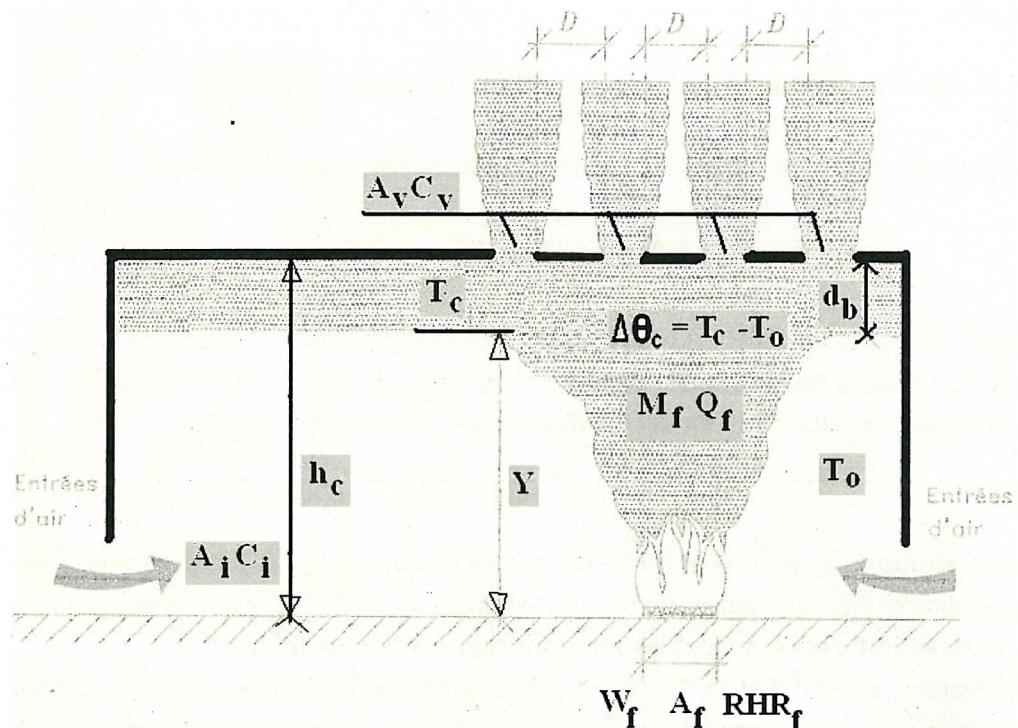
$d_b$  est l'épaisseur de la couche de fumée (m).

Si le rapport  $A_v C_v / A_l C_l$  n'est pas connu, le calcul de  $A_v C_v$  est effectué à travers l'équation (6) par itérations successives en partant d'une valeur supposée de  $A_v C_v / A_l C_l$ .

Pour le contrôle d'une installation EFC existante on utilisera l'équation suivante donnant l'épaisseur  $d_b$  de la couche de fumée

$$d_b = M_f^3 \cdot c_f [ T_c^2 + (A_v C_v / A_l C_l)^2 T_o T_c ] / [\rho_0 A_v C_v]^2 \cdot [2g \cdot Q_f \cdot T_o] \quad [m] \quad (9)$$

Sachant que le débit massique de fumée  $M_f$  est fonction de  $Y = h_c - d_b$ , où  $h_c$  est la hauteur totale du canton de fumée suivant la figure 1, cette équation (9) est aussi à résoudre par itérations successives.



**Figure 1: Bâtiment sans étage avec notations principales pour un seul canton**

5.1.2.3.5 Pour éviter l'entraînement d'air à travers la couche de fumée, la surface aérodynamique  $A_V \cdot C_V$  de chaque exutoire ne peut dépasser la valeur critique suivante

$$(A_V \cdot C_V)_{crit} = 1,4 (d_b)^2 \quad (10)$$

où  $d_b$  est l'épaisseur de la couche de fumée (m).

Si la distance  $D$  entre deux exutoires est inférieure à  $3d_b$ , c'est la surface aérodynamique totale des deux exutoires qui ne peut dépasser  $1,4 (d_b)^2$ .

La longueur maximale de l'ouverture d'un exutoire ne peut dépasser 3 m et ne peut être supérieure à  $d_b$ .

Les exutoires doivent être installés à la partie supérieure des cantons de fumée et ne peuvent être distants de plus de 20 m l'un de l'autre.

Le nombre minimum d'exutoires de fumée est de 1 par  $400 \text{ m}^2$  de surface au sol.

### 5.1.2.4 Détermination du débit d'extraction EFC et des entrées d'air (désofumage mécanique)

5.1.2.4.1 En cas d'extraction mécanique la vitesse de l'air  $v_{T_0}$  dans les entrées d'air ne doit pas dépasser 5 m/s.

5.1.2.4.2 Le calcul du débit total de fumée à extraire par canton se fait comme suit:

- Le débit massique à extraire de la couche de fumée  $M_{f,T_c}$  peut s'écrire

$$M_{f,T_c} = V_{T_c} \cdot \rho_0 (T_0 / T_c) \quad [\text{kg/s}] \quad (11)$$

- Le débit total  $V_{T_c}$  de fumée à température  $T_c$  à extraire d'un canton de fumée est donné par la relation suivante, sachant qu'en situation d'équilibre la masse entrant dans la couche de fumée  $M_f$  en [kg/s] est égale à la masse à extraire de la même couche  $M_{f,T_c}$

$$V_{T_c} = (M_{f,T_c} \cdot T_c) / (\rho_0 \cdot T_0) = (M_f \cdot T_c) / (\rho_0 \cdot T_0) \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (12)$$

- Les températures  $T_0$  et  $T_c$  sont obtenues par les équations (3), (4) et (5), en prenant comme puissance calorifique par unité de surface du foyer  $RHR_f = 500 \text{ kW/m}^2$ .

- Ces températures sont valables pour des espaces non sprinklés.
- Si l'espace est sprinklé l'effet de refroidissement sur les fumées peut être considéré, en prenant comme température thermodynamique  $T_c$  une valeur réduite par rapport à l'équation (7), et qui est donnée par

$$T_c = 0,5(t_s + 15 + \Delta\theta_c) + 273 \quad [\text{K}] \quad (13)$$

où  $t_s$  est la température d'activation des sprinklers en °C.

5.1.2.4.3 Le nombre de points d'extraction de fumée doit être suffisant pour que la somme de leurs débits soit au moins égal au débit total  $V_{T_c}$  donné par l'équation (12). Afin de ne pas rompre néanmoins la couche de fumée et donc pour éviter l'entraînement d'air à travers cette couche-même, aucun point d'extraction ne peut dépasser le débit critique donné par

$$V_{\text{crit}} = (2 / T_c) [ g(d_b)^5 (T_c - T_0) T_0 ]^{0,5} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (14)$$

5.1.2.4.4 Comme en cas d'extraction mécanique la vitesse de l'air  $v_{T_0}$  dans les entrées d'air ne doit pas dépasser 5 m/s, la surface aérodynamique minimale d'introduction naturelle d'air ( $A_I \cdot C_I$ ) est fournie par

$$(A_I \cdot C_I) v_{T_0} = V_{T_0} = V_{T_c} (T_0 / T_c) \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (15)$$

$$(A_I \cdot C_I) \geq 0,2V_{T_c} (T_0 / T_c) = 0,2M_f / \rho_0 \quad [\text{m}^2] \quad (16)$$

Il est à noter que l'effet favorable du sprinklage sur les dimensions du foyer peut être pris en compte en utilisant les valeurs du tableau 1, valable pour des surfaces de vente ou des parkings fermés.

*NOTE : Les équations précédentes (1) à (16) sont conformes aux documents NBN S21-208-1 de 1995, BS 7346-4:2003, CEN/TR 12101-5 de 2005 et CEN TS/EN 12101-12 de 2011 (projet).*

## **5.2 Locaux de faible hauteur**

### **5.2.1 Conditions générales**

Dans le cas de locaux de faible hauteur (inférieure à 3 m sous plafond) à désenfumer suivant les dispositions spécifiques (par exemple surfaces de vente, parkings), la hauteur sous plafond du local peut être trop faible pour stabiliser la couche de fumée à une hauteur suffisante ( $Y > 2,5$  m selon 5.1.1.6) et la méthode du paragraphe 5.1 n'est pas adaptée. Dans ce cas on crée le débit d'air de ventilation mécanique horizontale nécessaire pour s'opposer au mouvement horizontal des fumées et maintenir ainsi un itinéraire horizontal libre de fumée pour l'intervention du service d'incendie et de sauvetage, et si possible, pour l'évacuation des occupants.

Lorsque le système d'évacuation EFC ne permet pas de maintenir un accès libre de fumées à toutes les sorties de secours, il ne peut être activé qu'après un délai de 5 minutes à partir du début de l'alarme d'évacuation, afin de laisser le temps d'évacuer (voir 5.2.2). L'alarme d'évacuation doit être activée automatiquement et sans délai par la détection d'incendie. Pendant l'évacuation, les chemins d'évacuation (de tout point vers la sortie de secours la plus proche) doivent être signalés (pictogrammes) et éclairés (éclairage de sécurité) en partie basse (hauteur au-dessus du sol ne dépassant pas 30 cm).

Si l'objectif est aussi d'augmenter la sécurité de l'évacuation des personnes, le système EFC doit être étudié en conséquence (voir 5.2.3).

Pour assurer l'accès libre de fumée, les détails de dimensionnement sont repris ci-après pour les parkings fermés ; ils sont fournis par la NBN S21-208-2:2006 et l'Annexe A de son Addendum 1:2012, ainsi que par l'Annexe C de la norme en élaboration CEN TS/EN 12101-11, version mars 2011.

Pour d'autres applications comme les surfaces commerciales de hauteurs inférieures à 3 m sous plafond, le concepteur peut s'inspirer des règles applicables aux parkings fermés données au chapitre 5.2.2 si, et seulement si, ces surfaces sont sprinklées. Si ce n'est pas le cas, vu la puissance calorifique beaucoup plus élevée (voir tableau 1), il y a lieu de recourir à une approche d'ingénierie (chapitre 5.7).

### **5.2.2 Accès libre de fumée pour l'intervention du service d'incendie - cas des parkings fermés**

#### **5.2.2.1 Objet et domaine d'application**

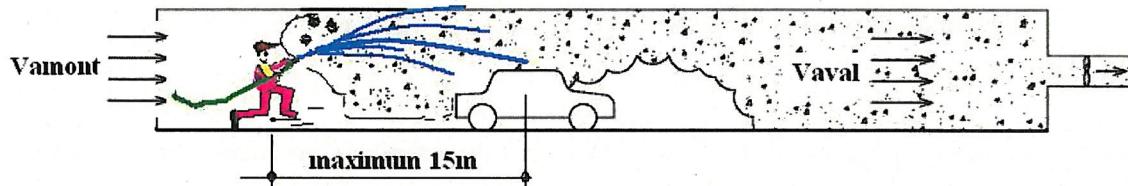
Le paragraphe 5.2.2 a pour objet de définir une solution-type pour la conception et la réalisation des systèmes EFC par ventilation mécanique horizontale applicables au plus grand nombre possible de configurations de parkings rencontrées dans la pratique.

*NOTE : La solution-type explicitée ci-après consiste à canaliser la fumée à l'aide d'écrans fixes ou mobiles en vue de se ramener à une configuration similaire à un tunnel. D'autres conceptions de désenfumage de parkings utilisant des ventilateurs jets (« boosters ») combinés avec une extraction mécanique sont possibles, mais les présentes prescriptions ne donnent pas de règles dans ce cas, et il*

*y a lieu de justifier l'efficacité du système choisi quel que soit l'emplacement du véhicule en feu.*

Un système EFC répondant aux conditions du présent paragraphe 5.2.2 est validé comme conforme aux exigences de performance suivantes:

L'accès pour l'intervention doit être maintenu libre de fumée sur toute sa longueur depuis la voie publique jusqu'à moins de 15 m du foyer, quel que soit l'emplacement du foyer. En effet la distance de moins de 15 m est nécessaire pour atteindre le foyer par le jet de la lance d'incendie, comme indiqué à la figure 2.



**Figure 2: Distance maximum en fumée jusqu'au foyer permettant encore une attaque à la lance**

*NOTE : Lorsque la ventilation journalière, la ventilation requise en cas de fuite de gaz naturel et la ventilation EFC sont combinées et réalisées par une même installation, celle-ci doit répondre aux exigences propres à chaque mode de fonctionnement.*

### 5.2.2.2 Principes

- (1) Le parking, y compris ses rampes et ses voies d'accès intérieures, est divisé en zones EFC dont la largeur de référence  $W_{ref}$  définie en 5.2.2.3 (3) ne dépasse pas 20 m.

*NOTE : Le foyer crée une force thermique qui a tendance à s'opposer au passage du flux d'air et à dévier celui-ci. Le principe de forcer le débit de ventilation à passer dans une zone EFC de largeur limitée à 20 m permet d'assurer le passage du flux de ventilation suffisamment près du foyer, tout en évitant une recirculation des fumées.*

- (2) Le parking est équipé d'une installation de détection de fumée d'incendie. Une détection confirmée active automatiquement et immédiatement l'alarme d'évacuation et les dispositifs existants destinés à empêcher l'accès des véhicules (feux de signalisation, barrières, affichage dynamique,...).

Le scénario EFC correspond à la première détection. Une détection confirmée est donnée par :

- soit deux détecteurs dans la même zone de détection,
- soit deux détecteurs dans des zones de détection différentes,
- soit un détecteur (qui détermine le scénario EFC) et un bouton-poussoir.

*NOTE : Le signal sonore d'alarme d'évacuation est doublé d'une signalisation lumineuse (lampes flash).*

- (3) En cas d'incendie dans une zone EFC, l'ensemble du débit de la ventilation EFC doit être canalisé de façon à être forcé au travers de la zone EFC du foyer, sans possibilité de contournement de celle-ci (voir figure 5):

- soit par la présence de parois fixes,

- soit par la fermeture automatique d'écrans mobiles de cantonnement de fumée, qui doivent être tenus latéralement afin de rester en place en toutes circonstances.

Pour chaque zone EFC, on définit une entrée d'air et une sortie d'air en fonction du scénario EFC. L'entrée et la sortie d'air peuvent être composées chacune de plusieurs baies, séparées par des éléments de construction (colonnes, parois).

- (4) Afin de permettre l'accès en sécurité à l'intérieur de la zone EFC du foyer, il y a lieu d'assurer le balayage des fumées à travers celle-ci.
- (5) En cas d'incendie dans une zone EFC, afin de permettre un accès libre de fumée depuis l'extérieur jusqu'à cette zone EFC, la propagation des fumées en amont de la zone EFC du foyer est limitée par la réalisation d'une vitesse horizontale d'air au droit de l'entrée d'air, qui doit néanmoins être inférieure ou égale à 2 m/s en cas de ventilation naturelle, ou à 5 m/s en cas de ventilation mécanique.
- (6) La propagation des fumées du parking vers le reste du bâtiment doit être empêchée.

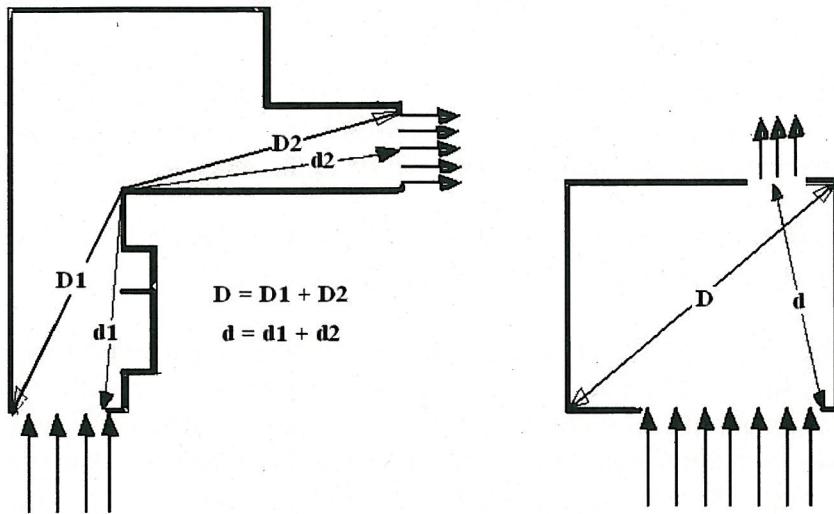
### **5.2.2.3 Prescriptions**

- (1) Les parois fixes ou écrans mobiles qui canalisent le débit de ventilation EFC doivent
  - être de classe D<sub>600</sub>60 suivant la Décision de la Commission du 27 août 2003 (2003/629/CEE),
  - être étanches aux fumées suivant la norme EN 12101-1,
  - résister à une surpression de 20 Pa dans la zone EFC.
 Les exigences en matière de distance maximale à parcourir pour l'évacuation doivent être respectées en tenant compte de la fermeture des écrans mobiles. Au besoin, des portes à fermeture automatique supplémentaires doivent être prévues.
- (2) Pour assurer le balayage des fumées à travers la zone EFC du foyer, on définit les grandeurs suivantes (figure 3) :
  - D est la distance horizontale la plus courte à parcourir à l'intérieur de la zone EFC entre les points les plus éloignés de la zone EFC ;
  - d est la distance horizontale la plus courte à parcourir à l'intérieur de la zone EFC entre le centre de la baie de sortie d'air et le bord latéral le plus proche de la baie d'entrée d'air.

Les distances D et d sont déterminées en excluant les box de parking et on vérifie que  

$$d \geq 0,6 \cdot D \quad (17)$$

Les baies qui ne respectent pas ces conditions doivent être fermées par des écrans mobiles à fermeture automatique en cas d'incendie.



**Figure 3 : Distances entre l'entrée et la sortie d'air de la zone EFC (schémas de principe)**

- (3) Le débit de dimensionnement  $V_d$  [m<sup>3</sup>/h] de l'installation, pour chaque zone EFC, est la valeur la plus grande entre les débits d'air suivants :

Le débit minimal  $V_{min}$  est défini comme suit :

- Parking fermé sans sprinklers :  
 $V_{min} = 120.000 \text{ m}^3/\text{h}$
- Parking fermé avec sprinklers :  $V_{min} = 100.000 \text{ [m}^3/\text{h}]$  (18a)

Le débit de référence  $V_{ref}$  est calculé comme suit :

- La largeur de référence  $W_{ref}$  de la zone EFC est donnée par  $W_{ref} = S/d$ , où  $S$  est la surface de la zone EFC déterminée en excluant les box de parking et  $d$  est la distance horizontale définie en (2). Toutefois, si la largeur de la zone EFC est supérieure à  $S/d$  sur une distance ininterrompue de plus de 15 m, c'est cette largeur supérieure qui est prise comme  $W_{ref}$ .
- La hauteur de référence  $h_{ref}$  est la hauteur libre pour le passage du flux d'air dans la zone EFC.
- La vitesse de référence  $v_{ref}$  est la vitesse requise donnée au tableau 6 en fonction de la largeur  $W = W_{ref}$ .
- $V_{ref} = v_{ref} \cdot W_{ref} \cdot h_{ref} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$  (18b)

Le débit d'entrée  $V_{in}$  est calculé comme suit :

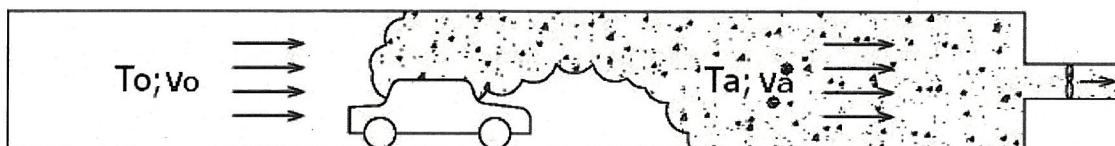
- La largeur  $W_{in}$  est la largeur de la baie d'entrée d'air de la zone EFC.
- La hauteur  $h_{in}$  est la hauteur libre de la baie d'entrée d'air de la zone EFC.
- La vitesse  $v_{in}$  est la vitesse requise donnée au tableau 6 en fonction de la largeur  $W = W_{in}$ .
- $V_{in} = v_{in} \cdot W_{in} \cdot h_{in} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$  (18c)

**Tableau 6 : Vitesses requises  $v_{ref}$  ou  $v_{in}$**

Largeur W	Parking fermé sans sprinklers	Parking fermé avec sprinklers
$\leq 8 \text{ m}$	1,5 m/s	1,2 m/s
12 m	1,4 m/s	1,1 m/s
16 m	1,3 m/s	1,0 m/s
20 m	1,2 m/s	0,9 m/s

*NOTE 1 : Le tableau 6 donne, pour une section donnée, la vitesse requise en l'absence de foyer d'incendie (mesurée « à froid »). Cette vitesse correspond à la vitesse d'air de la ventilation d'extraction des fumées en aval du foyer d'incendie (vitesse  $v_a$  « à chaud » en aval du foyer d'incendie selon la figure 4), qui est nécessaire pour obtenir une vitesse d'air en amont du foyer suffisante pour s'opposer à la propagation des fumées à contresens de la ventilation (vitesse critique amont  $v_o$  en situation d'incendie selon la figure 4).*

*NOTE 2 : Les parkings fermés ont toujours des pentes de sol conformes aux prescriptions SST 1506.*



$$v_o / v_a = T_o / T_a = (t_o + 273) / (t_a + 273)$$

**Figure 4 : Vitesses critiques amont  $v_o$  de l'air à température  $T_o$  et vitesse d'extraction aval  $v_a$  de la fumée à la température  $T_a$ .**

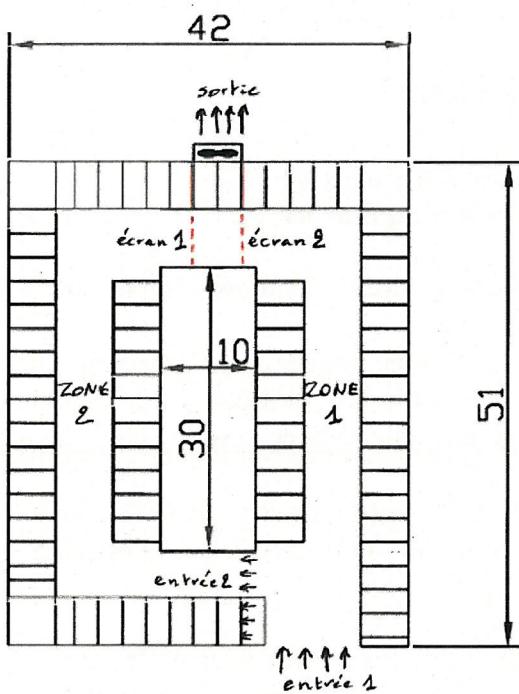
- (4) Lorsque le scénario de la zone EFC est activé, les vérifications suivantes doivent être effectuées au droit de l'entrée d'air de chaque zone EFC :
  - La vitesse d'air mesurée par section de maximum 6 m de largeur, conformément à la méthode de mesure détaillée au chapitre 5.2.2.4 doit être au moins égale dans chaque section de mesure à la vitesse requise au tableau 5 correspondant à la largeur  $W_{in}$  de l'entrée d'air.
  - Le débit d'air total, calculé en faisant la somme des produits des vitesses d'air mesurées par les sections de mesure, doit être au moins égal au débit de dimensionnement  $V_d$ .
- (5) En cas d'incendie dans une zone EFC, la propagation des fumées en aval de la zone EFC du foyer est limitée de façon à ce que la distance depuis n'importe quel point de la zone EFC, du foyer jusqu'à la bouche d'extraction la plus éloignée, activée par le scénario d'incendie correspondant, ne dépasse pas 200 m.
- (6) Les introductions d'air extérieur peuvent être réalisées par ventilation naturelle ou mécanique. En cas d'entrée d'air par ventilation mécanique (pulsion), le parking doit être maintenu en dépression par rapport au reste du bâtiment.

*NOTE : La mise en dépression du parking permet d'éviter la propagation des fumées vers le reste du bâtiment, quel que soit le scénario d'incendie activé. Pour ce faire, le débit de pulsion doit être inférieur au débit d'extraction.*

#### 5.2.2.4 Mesure des vitesses

- (1) Les mesures de vitesses sont effectuées à froid, en l'absence de véhicules, lorsque la vitesse du vent est inférieure à 4 m/s.
- (2) La vitesse est mesurée à  $\pm 5\%$  près.
- (3) La composante horizontale de la vitesse de l'air est mesurée, en grandeur et en direction, à l'entrée de l'air dans les zones EFC les plus défavorables pour chaque scénario incendie, par sections (tranches verticales) de largeur maximale 6 m, par la méthode en boucle définie par la norme EN 12599.
  - La boucle consiste en un balayage horizontal à trois niveaux correspondant à  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  et  $\frac{3}{4}$  de la hauteur sous obstacles (poutres, nervures, écrans ou conduits au plafond).
  - Les mesures ne sont pas effectuées à moins de 0,5 m des murs et colonnes.
  - La durée du balayage est de 30 secondes par niveau.

*NOTE : Conformément à la norme EN 12599, la durée de balayage de 30 secondes par niveau correspond à une vitesse de déplacement de l'appareil de mesure inférieure à 1/5 de la vitesse à mesurer.*



	Scénario incendie dans	
	ZONE 1	ZONE 2
Ecran 1	fermé	ouvert
Ecran 2	ouvert	fermé

**Figure 5 : Exemple d'application**

*NOTE : Pour cet exemple de parking, d'autres positions d'écrans et d'autres concepts d'extraction (plenum de répartition sur toute la largeur, registres motorisés, ...), également conformes au paragraphe 5.2.2 pourraient s'appliquer.*

#### 5.2.2.5 Effet du vent

L'influence du vent sur le fonctionnement du système EFC est prise en compte comme suit :

- soit le sens de fonctionnement du système EFC est asservi à la direction de l'écoulement d'air naturel dans le parking, dû au vent, durant les 10 dernières minutes avant la détection d'incendie ;

- soit les extracteurs EFC sont dimensionnés en tenant compte d'une perte de charge supplémentaire due au vent de 100 Pa. Cette valeur peut être réduite à 50 Pa si les rejets d'air sont implantés dans des zones de la toiture où ils ne sont jamais mis en surpression, quelle que soit la direction du vent, conformément à la norme EN 1991-1-4 :2005 « Actions du vent » et son AN-LU.

*NOTE : Pour tenir compte des effets défavorables du vent (à contresens de l'EFC), on considère une vitesse moyenne de vent égale à 10 m/s à la hauteur des rejets d'air. La perte de charge due à la mise en surpression du rejet d'air d'un extracteur et la perte de charge due à la mise en dépression d'une entrée d'air, pour certaines directions de vent, sont toutes deux de 50 Pa. La mise en surpression d'un rejet d'air peut être évitée s'il est implanté dans une zone de toiture toujours en dépression, quelle que soit la direction du vent. La mise en dépression d'une entrée d'air ne peut en général pas être exclue pour toutes les directions de vent.*

### **5.2.3 Accès libre de fumée pour l'évacuation des occupants et l'intervention du service d'incendie - cas d'espaces souterrains peuplés, de faible hauteur (gare souterraine, foyers de salles de spectacle, etc.)**

La ventilation horizontale mécanique est requise pour garder les voies d'évacuation libres de fumée

#### **5.2.3.1 Principes**

- (1) Les exigences de 5.2.2.1 et 5.2.2.2 sont à appliquer.
- (2) La longueur de la zone affectée par la fumée ne devrait pas dépasser deux fois la distance maximale, c'est à dire  $2 \times 35$  m, à parcourir pour l'évacuation définie dans les prescriptions de prévention incendie, ITM-SST série 1500.
- (3) Toutes les zones en dehors du volume considéré comme enfumé et se situant entre le foyer du feu et les bouches d'extraction doivent être suffisamment libres de fumée.
- (4) Il devrait y avoir à tous les niveaux un nombre suffisant de sorties maintenues libres de fumée pour évacuer en toute sécurité l'effectif estimé de personnes, conformément aux prescriptions en vigueur.
- (5) Une fois en-dehors du volume affecté par la fumée, les occupants qui s'évacuent devraient être capables de passer à au moins une sortie libre de fumée et non affectée par la chaleur générée par l'incendie au niveau concerné.

#### **5.2.3.2 Solutions d'ingénierie**

Pour satisfaire aux exigences performancielles du contrôle de fumée et de chaleur, la validation par CFD est essentielle. Les conditions à respecter sont définies au chapitre 7.

#### **5.2.3.3 Programme d'activation**

- (1) Les exigences de 5.2.2.2 (1) et (2) sont à appliquer.
- (2) Lors d'une détection d'un incendie, toute ventilation courante doit être arrêtée immédiatement et le système d'entrée et d'extraction d'air doit être mis en mode « feu ».

Après le délai nécessaire requis pour permettre au système de désenfumage d'atteindre son taux d'extraction maximum, les ventilateurs éventuels doivent diriger la fumée efficacement vers les principales bouches d'extraction.

#### **5.2.3.4 Les effets du vent**

Les exigences du point 5.2.2.5 sont à appliquer.

### **5.3 Volumes libres intérieurs du type "Atrium"**

#### **5.3.1 Objet**

Certains projets de construction, de par leur conception architecturale, prévoient la réservation d'un volume libre disposé comme une cour ou une rue intérieure, recouvert ou non et entouré par des niveaux ouverts ou fermés aux destinations les plus variées (boutiques, bureaux, chambres d'hôtel, circulations etc.). L'éclosion d'un incendie dans ce volume ou son environnement immédiat engendre des risques de propagation du feu, des fumées et des gaz chauds.

Le présent chapitre 5.3 a pour objet de définir les règles de construction et les principes de désenfumage de ces volumes, décrit un certain nombre de configurations et propose des solutions qui sont réputées satisfaire l'exigence de protection contre les fumées.

Les réalisations qui diffèrent de ces configurations, soit par leur architecture, soit par leurs dimensions, soit par les dimensions de leurs volumes adjacents (p.ex. : hauteur sous plafond > 4 m), nécessitent une étude particulière.

#### **5.3.2 Terminologie**

##### **5.3.2.1 Atrium**

Conventionnellement, un atrium, qu'il soit à l'air libre ou couvert, est un espace dont la plus petite dimension  $D_{pp}$  (définie en 5.3.2.4) doit être au moins égale à  $(7H)^{0,5}$ , H étant la hauteur sous plafond du dernier niveau par rapport au niveau bas de l'atrium (figure 9), sans être inférieure à 7 m.

##### **5.3.2.2 Atrium à l'air libre**

Il s'agit d'un volume libre fermé sur toutes ses faces latérales qui ne comporte aucune occlusion en partie supérieure.

##### **5.3.2.3 Atrium couvert**

Il s'agit du même volume que ci-dessus avec une couverture totale ou partielle. Dans cette catégorie d'atriums, il faut distinguer :

- a) ceux, dont un ou plusieurs niveaux sont ouverts en permanence sur le volume central : donc des atriums couverts ouverts (voir figure 6),
- b) ceux, dont tous les niveaux (à l'exception du niveau inférieur) sont fermés par une paroi, même si celle-ci comporte des ouvrants, des balcons ou une circulation horizontale ouverte : atriums couverts fermés (voir figures 7 et 8).

##### **5.3.2.4 Plus petite dimension d'un atrium**

La plus petite dimension en [m] d'un atrium,  $D_{pp}$ , est définie comme étant le diamètre du cylindre droit s'inscrivant sur toute la hauteur de l'atrium, dans l'espace libre compris entre :

- les nez de balcons pour les atriums ouverts (voir figure 6);

- les parois verticales pour les atriums fermés (voir figures 7 ou 8);
- les nez de balcons et les parois verticales pour les atriums ouverts sur une face et fermés sur l'autre (voir figure 9).

### 5.3.2.5 Section de base d'un atrium

La section de base d'un atrium en [ $m^2$ ] est la plus grande des valeurs,  $(\pi / 4) D_{pi}^2$ , obtenues à différents niveaux (voir figure 9).

### 5.3.2.6 Volume de base d'un atrium

Le volume de base d'un atrium en [ $m^3$ ] est obtenu en multipliant la section de base par la hauteur totale H.

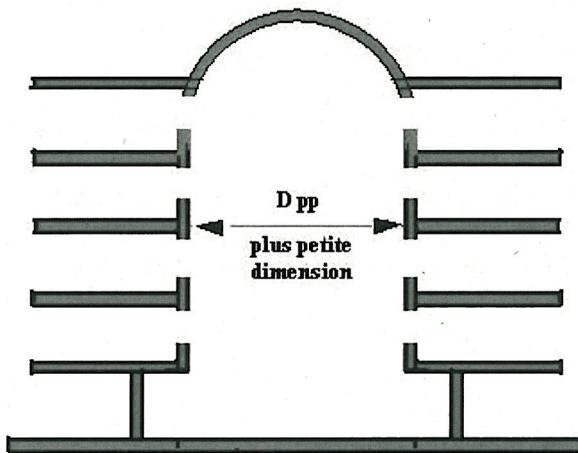


Figure 6: Atrium couvert ouvert

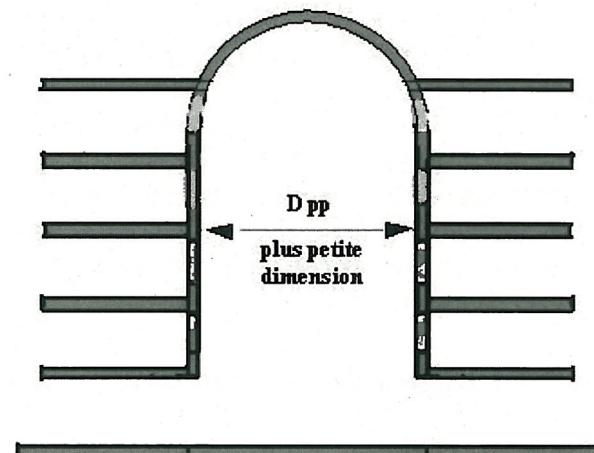


Figure 8: Atrium couvert fermé

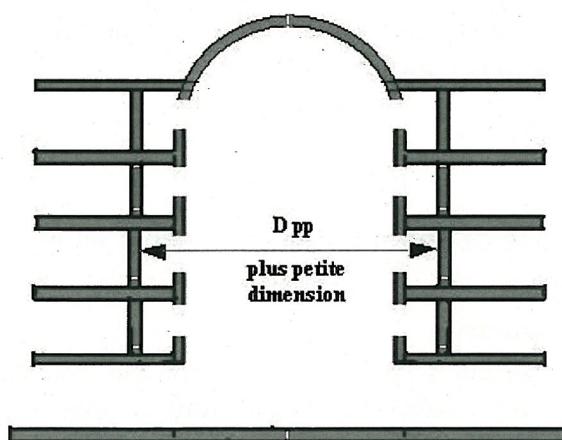


Figure 7: Atrium couvert fermé

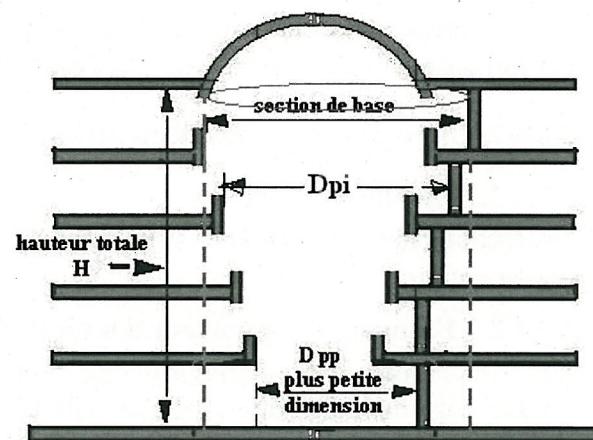


Figure 9: Section de base et volume de base, et plus petite dimension,  $D_{pp}$

### 5.3.3 Principes

La présente méthode donne les principes et règles empiriques de bonne pratique qui,

- pour un désenfumage naturel, donnent les ouvertures  $A_v$  en partie haute de l'atrium,
- pour un désenfumage mécanique, donnent le volume de fumée à extraire par unité de temps.

Les ouvertures d'aménée d'air  $A_I$  sont à réaliser en partie basse de l'atrium.

*NOTE : Cette méthode est basée sur l'Instruction Technique n°263 de l'Arrêté français du 6 mars 2006. En complément à cette instruction technique, les règles suivantes sont d'application.*

Le désenfumage naturel n'est autorisé que pour les atriums de hauteur  $H \leq 10$  m dont les niveaux ne sont pas sprinklés.

Pour  $H > 10$  m ou lorsque les niveaux sont sprinklés, seul le désenfumage mécanique est autorisé dans les atriums, sauf si le concept de désenfumage naturel est validé par une étude CFD selon l'article 7.

Le désenfumage d'un atrium couvert ouvert doit être complété par une ventilation mécanique EFC fonctionnant indépendamment à chaque niveau. Tel est le cas pour un atrium d'une hauteur de plus de 30 m si les occupants sont familiarisés avec les lieux, et pour un atrium d'une hauteur de plus de 18 m si les occupants peuvent ne pas être familiarisés.

*NOTE 1 : Cette dernière disposition provient du document BS 5588-7:1997 "Code of practice for the incorporation of atria in buildings"*

*NOTE 2 : La présente méthode est une approche simplifiée. Selon les circonstances, une approche performancielle basée sur des calculs CFD peut être appliquée (voir chapitre 7).*

*NOTE 3 : Dans certains cas de désenfumage naturel il peut s'avérer nécessaire de démarrer le désenfumage par des moyens mécaniques.*

## **5.3.4 Règles de construction**

### **5.3.4.1. Façades**

La règle du saut de flamme dite du  $(C+D) \geq 1m$  s'applique obligatoirement à l'ensemble des façades intérieures des atriums (voir ITM-SST 1502.1, 7.1.1 du 27.2.2009).

Les revêtements extérieurs des façades intérieures des atriums couverts doivent être conformes à l'Euroclasse A1 ou A2, c'est-à-dire non combustibles.

### **5.3.4.2. Circulations autour d'un atrium couvert**

#### **5.3.4.2.1 Escaliers**

Un escalier non encloisonné, situé dans le volume de l'atrium, ne constitue pas un escalier réglementaire.

#### **5.3.4.2.2 Bâtiments comportant des locaux à sommeil**

Les circulations horizontales ouvertes sur un atrium sont considérées comme des voies d'issue réglementaire dès lors que leur longueur n'excède pas 15 m entre la porte d'une chambre et un escalier ou une voie d'issue réglementaires.

Les circulations d'une longueur supérieure à 15 m entre la porte d'une chambre et un escalier ou une voie d'issue réglementaires, et qui sont séparées de l'atrium par une paroi E30, sont considérées comme des issues réglementaires. Dans ce cas, la distance maximale entre la porte d'une chambre et l'accès à un escalier réglementaire doit être inférieure à 30 m.

#### **5.3.4.2.3 Bâtiments ne comportant pas de locaux à sommeil**

Les circulations horizontales ouvertes sur l'atrium sont prises en compte dans le calcul des dégagements. La distance maximale entre la porte d'un local accessible au public et l'accès à un escalier réglementaire doit être inférieure à 30 m.

## 5.3.5 Désenfumage

### 5.3.5.1. Atriums à l'air libre

Leur désenfumage se fait naturellement par la partie supérieure.

### 5.3.5.2. Atriums couverts

#### 5.3.5.2.1. Règles générales :

- a) Si on veut éviter tout mouvement de fumée vers l'atrium, les locaux ou les circulations horizontales adjacentes doivent être désenfumés.
- b) Dans les établissements dont l'activité principale entraîne un classement « à risques particuliers », les locaux adjacents doivent être équipés d'un système d'extinction automatique du type « sprinkleur ».
- c) Le déclenchement des dispositifs d'évacuation de fumées et d'amenée d'air doit être automatique et être commandé par un système de détection automatique d'incendie. La commande automatique doit toujours être doublée par une commande manuelle située au niveau d'accès des secours ou au poste central de sécurité, s'il existe.
- d) En désenfumage naturel, la surface libre des évacuations de fumée est réalisée par des exutoires de fumée en toiture. Toutefois, un exutoire en toiture peut être remplacé par un ouvrant en façade de surface libre double. En position de fonctionnement, le dispositif d'obturation de ces ouvertures ne doit pas faire obstacle à l'écoulement normal des fumées. Les amenées d'air doivent avoir une surface aérodynamique respectant l'équation (2). En outre, à chaque niveau, la section de passage de la fumée entre éléments de construction doit être au moins égale à la moitié de la section de base définie en 5.3.2.5.
- e) En désenfumage mécanique, lorsque les amenées d'air sont naturelles, leur section doit être telle que, pour le plus grand débit extrait (correspondant soit à l'atrium, soit au plus grand des niveaux), la vitesse moyenne de passage de l'air soit inférieure ou égale à 2 m/s. Lorsque les amenées d'air sont mécaniques, leur débit est égal au plus grand débit extrait et la vitesse de soufflage limitée à 5 m/s.

#### 5.3.5.2.2. Atriums couverts avec potentiel calorifique très faible

Lorsque l'atrium comporte un potentiel calorifique très faible ( $q_{f,80\%} \leq 125 \text{ MJ/m}^2$ ), son désenfumage sera réalisé :

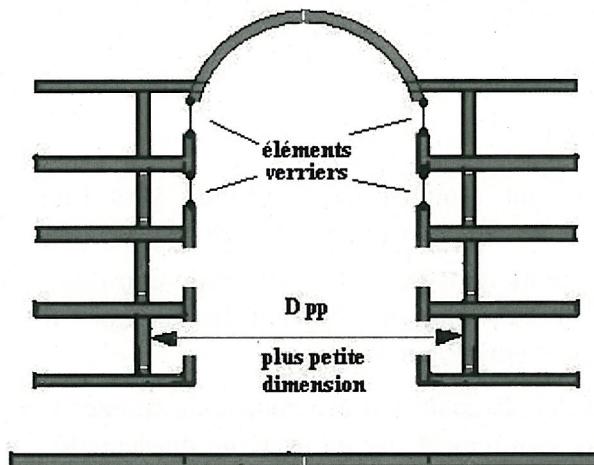
- soit naturellement par des ouvertures  $A_V$  installées en partie haute de l'atrium et représentant une surface libre égale à 1 % de la section de base du volume à désenfumer (figure 9), avec un minimum de  $2 \text{ m}^2$ ,
- soit mécaniquement, avec un débit extrait de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  pour  $100 \text{ m}^2$  de section de base, avec un minimum de  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Dans ces deux cas, l'amenée d'air  $A_I$ , qu'elle soit naturelle ou mécanique, est réalisée en partie basse de l'atrium.

#### 5.3.5.2.3. Autres atriums couverts

- (1) Afin d'empêcher l'envahissement des étages supérieurs par les fumées, il est indispensable d'isoler de l'atrium les niveaux situés dans la moitié supérieure du volume désenfumé par des éléments de construction de l'Euroclasse B de réaction au feu, disposés

tels des éléments verriers à la périphérie du vide entre éléments de construction tels les nez de balcons ou parois verticales (voir figure 10). S'il s'agit de chemins d'évacuation de locaux à sommeil, ces éléments de construction doivent être E30.



**Figure 10 : Isolement des niveaux supérieurs**

La mise en place de ces éléments est sans influence sur la détermination de la plus petite dimension de l'atrium; de plus, les locaux ou dégagements ainsi isolés sont désenfumés séparément dans les mêmes conditions que les niveaux inférieurs.

**(2) Déisenfumage naturel :**

L'évacuation naturelle des fumées sera assurée par des exutoires en partie haute de l'atrium et représentant une surface libre  $A_v$  au moins égale à 7 % de la section de base du volume à déisenfumer.

Les amenées d'air naturelles seront situées en partie basse de l'atrium.

**(3) Déisenfumage mécanique :**

L'extraction mécanique, effectuée en partie haute, assurera un débit horaire d'extraction minimal égal à 12 fois le volume de base de l'atrium défini en 5.3.2.6.

Les amenées d'air qui sont situées en partie basse de l'atrium, seront soit naturelles, soit mécaniques.

### 5.3.5.3. Déisenfumage des volumes adjacents à l'atrium

#### 5.3.5.3.1 Généralités

- Dans tous les cas, les locaux et les circulations ouverts sur l'atrium sont déisenfumés.
- Les locaux et les circulations ouverts sur l'atrium doivent être séparés de l'atrium par des écrans de cantonnement fixes. La retombée sous plafond sera au minimum de 0,50 m et, pour les hauteurs libres de fumée supérieures à 2 m elle descendra 0,50 m en dessous du point bas de la bouche d'extraction (voir figure 11).

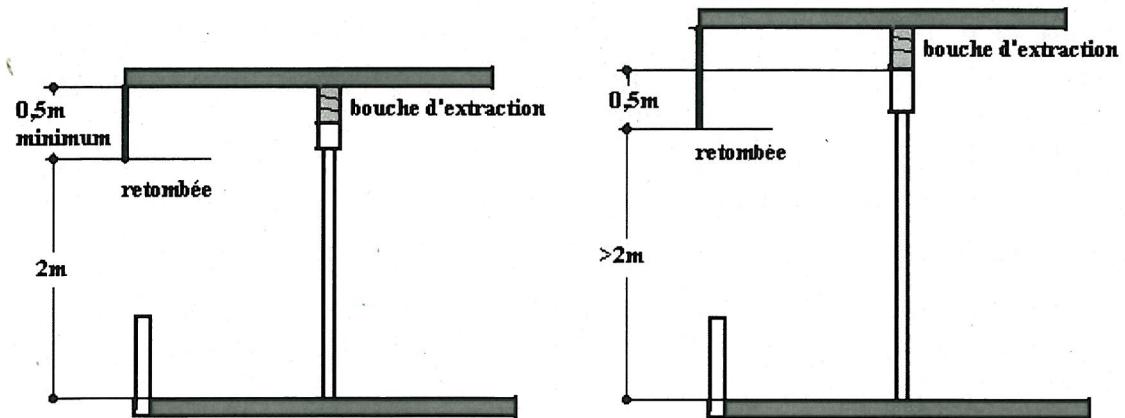


Figure 11: Dimensions des retombées

Le désenfumage, obligatoirement mécanique, est mis en route automatiquement par canton. On doit pouvoir désenfumer simultanément tous les cantons d'un même niveau et l'installation doit être calculée pour le niveau correspondant au plus grand débit.

La mise en route du désenfumage dans un niveau interdit la commande automatique de dispositifs de désenfumage des autres niveaux desservis par le même réseau.

- c) Les volumes fermés adjacents à l'atrium sont désenfumés ou non en application des prescriptions ITM.

#### **5.3.5.3.2 Locaux de moins de 300 m<sup>2</sup> ouverts sur une circulation, elle-même ouverte sur l'atrium**

Il s'agit de locaux ouverts sur la circulation en exploitation normale tels les locaux commerciaux ou d'exposition, etc. Les circulations, y compris le plenum (s'il existe), sont recoupées tous les 30 m par des écrans de cantonnement d'une hauteur équivalente à celle des retombées.

Dans ce cas, on peut désenfumer les circulations seulement. Leur désenfumage est réalisé mécaniquement par au moins deux bouches d'extraction situées dans le réservoir de fumées, sous le plafond de la circulation.

Ces bouches sont espacées au maximum de 10 m en parcours rectiligne et de 7 m en parcours non rectiligne. Quelle que soit la largeur de cette circulation, le débit extrait est de 8 m<sup>3</sup>/s au moins dans chaque tronçon et la vitesse moyenne d'entrée d'air aux bouches est limitée à 5 m/s.

L'arrivée d'air frais doit se faire en dessous de la zone enfumée depuis le pied de l'atrium ou depuis les cantons voisins mis en surpression.

#### **5.3.5.3.3 Locaux ou espaces de circulation de plus de 300 m<sup>2</sup> directement ouverts sur l'atrium**

Il s'agit de bureaux paysagers, de surfaces commerciales ou d'exposition, ou bien de locaux similaires donnant directement sur l'atrium. Ces locaux sont recoupés en cantons de désenfumage d'une surface maximale de 1.600 m<sup>2</sup>.

Le désenfumage est réalisé par extraction mécanique des fumées au plafond des locaux, avec un débit de 1 m<sup>3</sup>/s pour 100 m<sup>2</sup> de surface, avec un minimum de 10,5 m<sup>3</sup>/s par local ou par

canton, la vitesse moyenne d'entrée de l'air aux bouches étant limitée à 5 m/s. De plus, le système de désenfumage est calculé pour le niveau exigeant le plus grand débit.

L'amenée d'air s'effectue, soit naturellement depuis le pied de l'atrium, soit depuis les volumes ou cantons adjacents mis en surpression.

#### **5.3.5.4 Atriums de faible hauteur ( $\leq 10$ m)**

##### **5.3.5.4.1 Définition**

Les atriums de faible hauteur sont ceux dont la hauteur du plafond du dernier niveau H ne dépasse pas 10 m par rapport au niveau bas de l'atrium. Leur section de base est d'au moins 25 m<sup>2</sup> (puits de lumière).

##### **5.3.5.4.2 Désenfumage**

###### **a) Atrium**

Leur désenfumage est réalisé :

- soit naturellement par des ouvertures installées en partie haute de l'atrium et représentant une surface libre égale à 1% de la section de base avec un minimum de 2 m<sup>2</sup>,
- soit mécaniquement avec un débit extrait égal à 1 m<sup>3</sup>/s pour 100 m<sup>2</sup> de section de base, avec un minimum de 3 m<sup>3</sup>/s.

Les amenées d'air situées au pied de l'atrium sont soit naturelles, soit mécaniques. En désenfumage naturel, les amenées d'air doivent avoir une surface libre équivalente à celle des évacuations de fumée, c'est-à-dire avoir une surface aérodynamique respectant l'équation (2).

En désenfumage mécanique, la vitesse de passage de l'air doit être inférieure ou égale à 1 m/s pour les amenées d'air naturelles et à 5 m/s pour les amenées d'air mécaniques.

###### **b) Volumes adjacents**

Si le désenfumage des circulations et des locaux situés en périphérie du puits est exigé dans les dispositions particulières, ces volumes sont séparés de l'atrium par des écrans de cantonnement et désenfumés. Toutefois, l'extraction est obligatoirement mécanique, si le bâtiment comporte des locaux à sommeil.

Les amenées d'air, situées au pied de l'atrium, sont soit naturelles, soit mécaniques et réalisées dans les mêmes conditions qu'au paragraphe 5.3.5.3.

### **5.4 Petits espaces**

#### **5.4.1 Objet**

Le présent chapitre a comme objet les principes, les obligations du désenfumage et les règles d'exécution du dit désenfumage en décrivant des solutions qui permettent d'assurer dans les établissements recevant du public :

- la mise à l'abri des fumées ou le désenfumage des cages d'escaliers,

- le désenfumage de petits locaux accessibles au public sans ouvertures extérieures (surface comprise entre 150 m<sup>2</sup> et 600 m<sup>2</sup>),
- locaux à risques particuliers (réserves, stockage, archives, etc.) d'une surface de 300 m<sup>2</sup> à 600 m<sup>2</sup>, ou d'un volume supérieur à 1000 m<sup>3</sup>, sans ouvertures extérieures.

Les solutions de désenfumage mises en place devront être compatibles entre elles. Ce document-ci n'exclut pas la possibilité d'adapter les solutions de désenfumage des chapitres suivants, sous réserve d'obtenir des résultats équivalents à savoir :

- un balayage satisfaisant de la zone concernée doit être assuré,
- la stratification et le mouvement naturel des fumées ne doivent pas être contrariés.
- Ces dispositions, les cas échéant, sont précisées par les dispositions particulières propres à chaque type de local.

*NOTE : Les principes et règles empiriques de bonne pratique décrits au présent chapitre sont basés sur l'Instruction Technique n°246 de l'Arrêté français du 22 mars 2004, et se réfèrent au désenfumage naturel et au désenfumage mécanique des locaux en question.*

#### **5.4.2 Dispositions relatives aux cages d'escaliers**

Les exigences réglementaires de mise à l'abri des fumées sont fixées par le paragraphe 10.2 des prescriptions ITM-SST 1501, 1502 et 1503 (bâtiments bas, moyens et élevés).

*NOTE : Il faut tenir compte de l'influence du vent sur la capacité de mise à l'abri des fumées. En pratique, une solution possible consiste à choisir l'ouverture des entrées d'air et des exutoires en fonction de la direction du vent.*

#### **5.4.3 Dispositions relatives au désenfumage mécanique des petits locaux accessibles au public et/ou des locaux à risque particulier**

##### **5.4.3.1 Principe de fonctionnement**

5.4.3.1.1 Le désenfumage par tirage mécanique est assuré par des extracteurs mécaniques de fumée et des amenées d'air naturelles ou mécaniques. Ce balayage peut être complété par une mise en surpression relative des espaces à mettre à l'abri des fumées.

5.4.3.1.2 Si un local est ventilé en permanence (renouvellement d'air, chauffage ou conditionnement d'air), son système de ventilation peut être utilisé pour le désenfumage dans la mesure où il répond aux dispositions du présent chapitre, et ne contrarie pas le mouvement naturel des fumées. La présence de filtres ou de pièges à son est admise sur le réseau de soufflage, mais pas sur le réseau d'extraction.

##### **5.4.3.2 Bouches et volets**

Les amenées d'air naturel doivent être dimensionnées pour la totalité du débit extrait. Les amenées d'air mécaniques doivent avoir un débit de l'ordre de 0,9 fois le débit extrait.

#### **5.4.3.3 Caractéristiques des ventilateurs**

- 5.4.3.3.1 Les ventilateurs de soufflage et d'extraction doivent être dimensionnés en fonction des caractéristiques du réseau desservi et pour un débit égal au débit nominal augmenté du débit de fuite tolérable (de l'ordre de 20 %).
- 5.4.3.3.2 Les ventilateurs d'extraction et leur liaison avec les conduits doivent assurer leur fonction pendant une heure à la température  $T_{max}$  calculée, avec un minimum de 300°C.
- 5.4.3.3.3 L'état ouvert ou fermé du sectionneur des ventilateurs doit être reporté à la centrale de surveillance.
- 5.4.3.3.4 Les câbles électriques alimentant les ventilateurs de désenfumage doivent correspondre à la classe de résistance P60.

#### **5.4.3.4 Désenfumage mécanique**

- 5.4.3.4.1 Le débit horaire d'extraction est au moins 12 fois le volume du local. Ce débit d'extraction est limité à 3 m<sup>3</sup>/s pour «100 m<sup>2</sup>» de section horizontale du local.
- 5.4.3.4.2 Concernant le désenfumage des volumes créés par la communication entre trois niveaux au plus, ce désenfumage mécanique est calculé avec les débits précédents et concerne :
  - soit l'ensemble du volume, les bouches d'extraction des fumées se trouvant à l'aplomb des trémies de communication et aucun écran de cantonnement ne s'opposant à l'écoulement des fumées,
  - soit chaque niveau, les niveaux étant isolés de la trémie commune par des écrans de cantonnement.

### **5.5 Ouvrages spéciaux (tunnels, galeries de liaison, etc.)**

Les systèmes EFC sont à définir cas par cas en accord avec les autorités publiques compétentes.

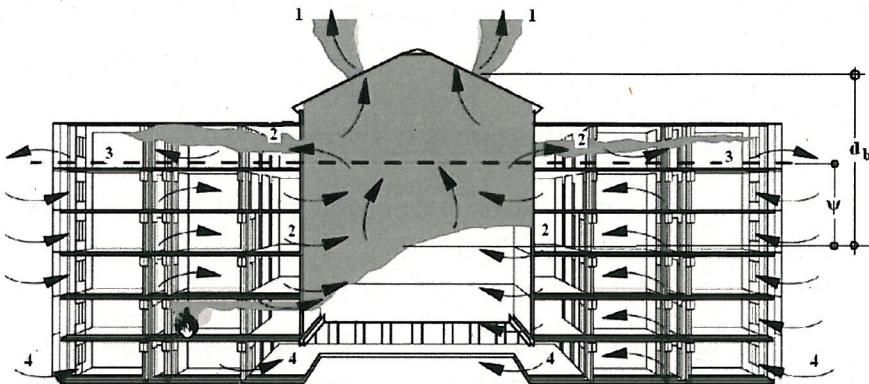
### **5.6 Dimensionnement du désenfumage selon CEN/TR 12101-5**

Alternativement à l'article 5.3, le dimensionnement pour un atrium d'une installation EFC pourra être fait par l'intermédiaire de la méthode décrite à l'Annexe J des documents CEN/TR 12101-5 de 2000 et BS 7346-4:2003.

La chaleur dégagée par un incendie dans un bâtiment provoque un effet de cheminée. Cet effet engendre :

- en partie basse, une dépression par rapport à l'ambiance extérieure, avec rentrées d'air provenant de l'extérieur,
- en partie haute, une surpression par rapport à l'ambiance extérieure, avec sortie des fumées vers l'extérieur,
- l'existence dans la couche de fumées d'un plan de pression neutre (PPN) où la pression à l'intérieur du bâtiment est égale à la pression atmosphérique extérieure (voir figure 12).

La position de ce plan peut être déterminée en exprimant d'une part que la perte de charge à l'entrée "4" est égale à l'effet de tirage dû à la hauteur  $\psi$  entre le bas de la couche de fumées et le point neutre PPN et, d'autre part, que la perte de charge au niveau des exutoires est égale au tirage dû à la hauteur de fumées entre le point neutre et les exutoires ( $d_b - \psi$ ). Physiquement la position du point neutre est déterminée au prorata des pertes de charges en tenant compte d'une température moyenne  $T_C$  de la couche de fumée.



**Figure 12: Plan de Pression Neutre.**

**Légende:** 1-exutoires, 2-fuites d'air, 3-plan de pression neutre, 4-entrées d'air.

Pour les bâtiments ayant un certain développement en hauteur, ceci signifie qu'en dessous du PPN, l'espace enfumé est en dépression par rapport aux locaux qui lui sont adjacents, et qu'au dessus du PPN, l'espace enfumé est en surpression par rapport aux locaux adjacents. Selon l'étanchéité à l'air des partitions internes du bâtiment, il peut en résulter un transfert de fumées du local enfumé vers les locaux adjacents situés au dessus du PPN. Ce phénomène doit être pris en compte lors de la conception de l'installation EFC.

NOTE : De même il faut tenir compte de l'influence du vent sur la capacité d'extraction des exutoires. En pratique, une solution possible consiste à choisir l'ouverture des entrées d'air et des exutoires en fonction de la direction du vent.

## **5.7 Prescriptions relatives aux approches d'ingénierie du désenfumage**

Les caractéristiques des systèmes de désenfumage pourront, en alternative aux prescriptions quantitatives, être déterminées à l'aide d'une approche d'ingénierie. Ces caractéristiques devront être telles que les objectifs du désenfumage des chapitres 5.1 à 5.6 soient satisfaits.

Cette approche d'ingénierie, notamment par l'intermédiaire d'un programme de calcul CFD basé sur la méthode de la dynamique des fluides selon l'article 7, doit permettre de simuler l'évolution des phénomènes liés à l'enfumage et à son contrôle par des systèmes de désenfumage en ventilation naturelle et/ou mécanique. Dans le cas de configurations particulièrement difficiles cette approche s'avère être la seule valable. Elle doit comporter nécessairement :

- une présentation exhaustive de l'ensemble des hypothèses, paramètres et données quantitatives utilisés, y compris une copie du manuel d'utilisation du programme de calcul CFD utilisé ;

- la réalisation de simulations mettant en évidence un contrôle satisfaisant de l'enfumage pour certaines valeurs, bien identifiées, des paramètres quantitatifs relatifs aux systèmes de désenfumage pris en compte dans ces simulations ;
- une présentation des résultats de simulation et des conclusions quant à l'efficacité des systèmes de désenfumage préconisés.

Les autorités compétentes peuvent éventuellement exiger la réalisation d'essais in situ, avec fumées chaudes artificielles, par exemple pour valider les caractéristiques des systèmes de désenfumage retenus.

## **Article 6. - Choix des scénarios courants d'incendie**

Les données de base essentielles sont la densité de charge calorifique  $q_f$  ( $\text{MJ/m}^2$ ), ainsi que le débit calorifique par unité de surface  $RHR_f$  ( $\text{kW/m}^2$ ).

*NOTES :*

- 1) La densité de charge calorifique  $q_f$  ( $\text{MJ/m}^2$ ) est donnée au tableau E.4 de la EN1991-1-2, complété pour différentes exploitation industrielles par le tableau 1 de l'Annexe 1 de l'Instruction Technique ITM-SST 1551.
- 2) Le débit calorifique par unité de surface  $RHR_f$  ( $\text{kW/m}^2$ ) est donné au 5.1.1.5 du présent document pour les bâtiments courants et au tableau 2 de l'Annexe 1 de l'Instruction Technique ITM-SST 1551 pour l'industrie.

Dans le cas d'un foyer stationnaire, appelé "steady-state design fire" selon la BS 7346-4:2003, les données supplémentaires sont fixées à l'Article 5 ci-devant. On détermine de la sorte tout un ensemble de grandeurs physiques dans le but de dimensionner l'installation de désenfumage, devant permettre l'évacuation des occupants et l'intervention des services d'incendie et de sauvetage.

Les grandeurs ainsi fixées de façon conventionnelle sont la grandeur maximum d'un canton de fumée, le débit calorifique par unité de surface du foyer et les dimensions normalisées du foyer. Notons que le sprinklage peut être utilisé ici pour limiter les dimensions du foyer stationnaire suivant le tableau 1 du présent document.

Si ces limites ainsi fixées sont dépassées, l'installation de désenfumage devient insuffisante. Or cette approche du foyer stationnaire ne comprend, à part la phase de l'incendie stabilisé avec son débit calorifique constant par unité de surface  $RHR_f$ , ni de phase croissante ni de phase décroissante de l'incendie.

Dès lors cette approche reste d'application limitée, et ne pourra pas être utilisée ni pour déterminer l'évolution des températures dans la couche de fumée, qui influencent la stabilité de la structure portante, ni pour fixer l'effet réel des sprinklers.

Dans le cas d'un foyer évolutif, appelé "time-dependent design fire ", selon la BS 7346-5:2005, les trois phases essentielles d'un feu réel sont prises en compte à savoir la phase d'ignition et de croissance à certaine vitesse de développement, la phase de l'incendie pleinement développé avec son débit calorifique  $RHR_f$  et la phase de décroissance. Des règles de dimensionnement bien précises sont données aux Annexes C, D et E de la EN1991-1-2 et de son AN-LU, permettant d'analyser en fonction du temps l'évolution à l'intérieur de la zone supérieure chaude et remplie de fumée ainsi qu'à l'intérieur de la zone inférieure libre de fumée.

Dans cette approche les conditions physiques sont supposées varier uniformément dans le temps, avec au début de l'incendie les deux zones précitées existant jusqu'à l'embrasement général à partir duquel n'existe plus qu'une zone chaude et remplie de fumée.

Cette approche permet de déterminer en fonction du temps l'évolution de la température et de la hauteur de la couche de fumée ainsi que la concentration en oxygène nécessaire à la combustion.

Tout cela est à analyser en fonction de la qualité thermique des surfaces enveloppant le compartiment sous feu, de la densité de charge calorifique  $q_{f,d}$  de dimensionnement, des surfaces des exutoires et entrées d'air ou des extracteurs avec leur débit total de fumée à extraire du compartiment en  $[m^3/s]$  et de l'introduction mécanique éventuelle d'air ainsi que des ouvertures créées notamment par le bris de glace suite à l'échauffement. Dans ce cas, les mesures actives de lutte contre l'incendie (sprinkleurs, etc.) sont prises en compte de façon explicite au niveau de la détermination de la densité de charge calorifique  $q_{f,d}$  de dimensionnement.

Lorsque la stratification peut être mise en doute (effets du vent, configuration du bâtiment), il peut être nécessaire, pour bien simuler la réalité de l'évolution des températures et des fumées, d'avoir recours à l'ingénierie basée sur des calculs CFD.

## **Article 7. - Choix de la méthode de dynamique des fluides CFD**

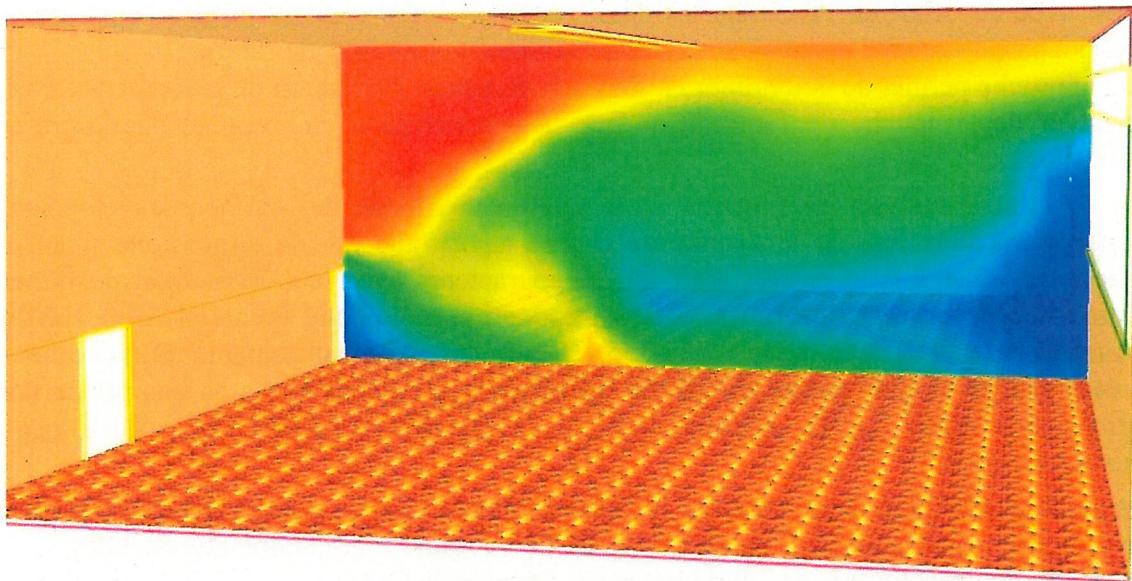
### **7.1 Généralités**

Dans certaines situations, lorsque le compartiment a une forme plutôt mouvementée, ou lorsque les charges au feu sont réparties de façon ponctuelles et désordonnées, ou lorsque le vent peut influencer le bon fonctionnement, ou encore lorsque les conditions de ventilation sont soumises à controverse, il faut recourir à un modèle de calcul de dynamique des fluides, appelé "Computational Fluid Dynamics" ou CFD.

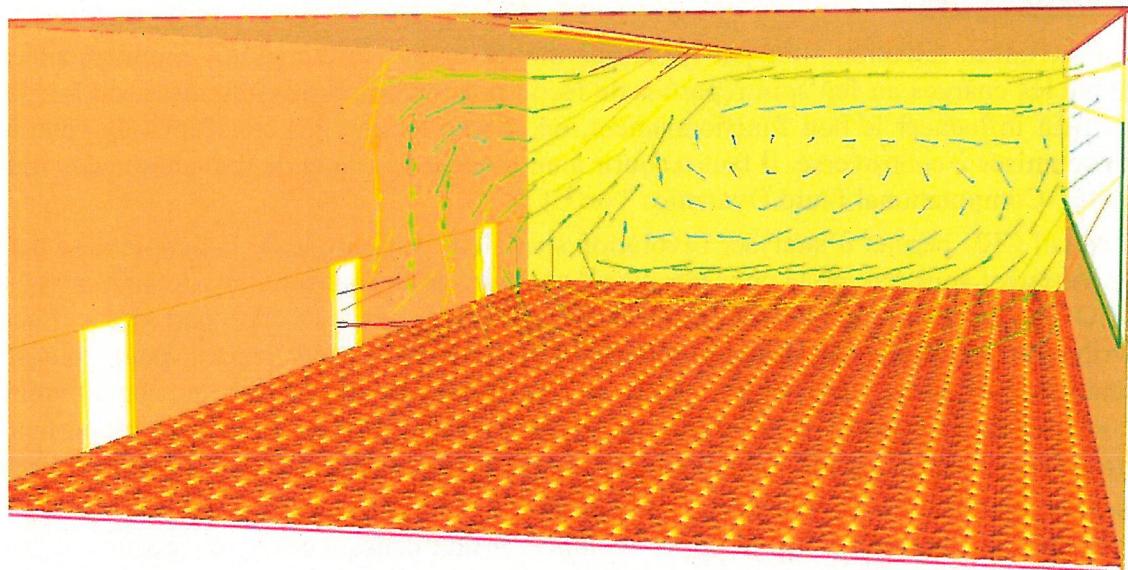
Un calcul CFD permet d'analyser l'évolution spatiale et temporelle de la température dans le compartiment sous feu, de la concentration de la suie, de la concentration de l'air en O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> et CO etc, ainsi que de la vitesse d'évacuation des fumées. D'autre part des surfaces à distribution uniforme (iso-valeur) peuvent être établies à tout instant pour toutes ces grandeurs physiques, permettant ainsi en connaissance de cause un choix vraiment méticuleux des paramètres de désenfumage et aussi d'échauffement de la structure portante.

A titre d'exemple illustratif, les figures 13 et 14 présentent des résultats du calcul CFD du désenfumage d'une halle de section au sol de 21 m x 37 m et de hauteur 9 m, où les conditions de l'équation (2) ne sont pas remplies. Il faut dans ce cas avoir recours au bris du verre de la façade vitrée, afin d'obtenir des vitesses de désenfumage adéquates ainsi qu'un échauffement de l'air modéré.

Vu la complexité des calculs CFD, ces calculs sont à présenter impérativement dans un dossier, sous forme écrite, reprenant les références du logiciel utilisé, les paramètres physiques relatifs au projet étudié, les résultats en fonction du temps de l'espace enfumé, des vitesses de l'air et des températures atteintes. Mais il faut aussi présenter des tests de sensibilité en faisant varier les paramètres cruciaux, afin de montrer que le logiciel et son application sont conformes aux principes reconnus de l'ingénierie.



**Figure 13: Section transversale à mi longueur de la halle, avec champs thermique vers 55 minutes et température maximale de 270°C.**



**Figure 14: Section transversale à mi longueur de la halle, avec vitesses de l'air vers 60 minutes et une vitesse maximale de 6m/s.**

## **7.2 Conditions d'utilisation de la méthode CFD**

### **7.2.1 Objectifs**

- (1) Le chapitre 7.2 a pour objectif de définir les conditions à respecter par un calcul de dynamique des fluides par ordinateur (CFD – Computational Fluids Dynamics) utilisé pour valider la conformité d'un système EFC pour tout emplacement possible d'un foyer. Les validations par calculs CFD sont applicables à la situation d'un foyer, sans sprinkleur ou avec sprinkleur, aux conditions définies par exemple en 7.2.2.2.

*NOTE: Un calcul suivant 7.2 peut permettre, pour certains scénarios d'incendie, d'admettre d'autres valeurs des paramètres (vitesse minimale d'air, débit d'air,...) que celles requises par 5.2.2. p.ex.*

- (2) Le système EFC doit être validé pour les positions les plus défavorables, par exemple de véhicules en feu dans chaque zone EFC, objet d'un scénario incendie. Le nombre de positions à considérer est déterminé en fonction des obstacles et autres discontinuités dans les cheminements des flux d'air.

Il en résulte qu'un certain nombre de calculs CFD sont nécessaires. Un calcul CFD correspond à une position d'un foyer.

## 7.2.2 Données relatives au logiciel CFD

### 7.2.2.1 Données générales

- (1) Le calcul par logiciel CFD permet d'établir, en fonction du temps, le développement, la répartition et les mouvements des fumées, en termes d'espaces enfumés et non enfumés (concentrations), de températures, de vitesses (amplitudes et directions) dans les zones EFC concernées.

- (2) Le logiciel CFD, qui est soit générique, soit spécifique pour les calculs EFC, doit être reconnu, couramment employé et disposer de références et de validations dans le domaine des simulations EFC.

Ce logiciel doit disposer des modèles mathématiques permettant la résolution d'un ensemble d'équations différentielles établissant localement les principes de conservation de masse, d'énergie et de quantité de mouvement, et des concentrations.

Ce logiciel doit intégrer les équations de comportement et de déplacement des fumées utilisant un modèle de turbulence, soit du type « LES » (Large Eddy Simulations – simulations de grands tourbillons).

- (3) Dans le cas p.ex, d'un parking fermé sprinklé avec pentes de sol (une seule voiture en feu), on admet que les effets défavorables ou favorables du sprinklage peuvent être négligés.

*NOTES :*

*1) Il peut y avoir des effets défavorables dus au sprinklage :*

- vaporisation de l'eau projetée sur le foyer et à proximité de celui-ci ;*
- condensation de cette vapeur d'eau dans les fumées, en aval du foyer, dans le sens d'écoulement des fumées ;*

*2) Il peut y avoir aussi des effets favorables dus au sprinklage avec pente de sol :*

- non propagation du feu à une seconde voiture ;*
- réduction de la puissance totale et du flux de chaleur convectif du foyer.*

*La condensation de la vapeur d'eau en aval du foyer n'est pas considérée comme gênante pour l'intervention des services incendie ; la réduction du flux de chaleur n'est pas prise en compte, entraînant ainsi une évaluation sécuritaire du débit d'extraction de fumée et de la température moyenne des fumées.*

- (4) La méthode de calcul consiste :

- à diviser l'espace tridimensionnel du compartiment en feu en un nombre de cellules, de dimensions finies et localisées dans les axes: x, y et z de cet espace ;
- à résoudre, à chaque intervalle de temps, pour chaque cellule et aux limites de celles-ci, les équations citées ci-dessus gouvernant les phénomènes physiques.

- (5) Le logiciel utilisé intègre les modules d'application spécifiques à la simulation d'un foyer et de son développement dans le temps définis p.ex. en 7.2.3. L'intégration de ces

modules d'application est validée et reconnue par le concepteur responsable du logiciel CFD générique utilisé.

Ces modules d'application comprennent les modèles mathématiques relatifs :

- au feu c.à.d. le flux de chaleur convectif ;
- à la fumée c.à.d. la masse de fumée produite, sa température et sa concentration ;
- aux systèmes dynamiques externes c.à.d. les ventilateurs d'introduction et d'extraction d'air, les accélérateurs, et les orifices d'introduction d'air.

(6) Le logiciel permet la saisie des données géométriques, en trois dimensions. Les obstacles fixes et les éléments de structure des espaces du parking fermé (poutres, parois et colonnes, ...), qui dimensionnent le système EFC, doivent être incorporés.

*NOTE : L'influence des poutres sur la propagation du « ceiling jet » (jet d'air chaud au plafond) doit notamment être prise en compte .*

*La saisie des données peut être réalisée :*

- soit par importation de fichiers externes (plans d'architectures et de structure) ;
- soit par la création manuelle de fichiers créant le tracé des limites de l'enveloppe de l'espace parking fermé, reprises sur les plans d'architecture et de structure.

*Les types de parois délimitant le parking (murs, plafond, plancher) sont introduits dans le logiciel.*

### 7.2.2.2. Données particulières

- (1) L'air de compensation introduit dans le compartiment en feu est considéré à 15°C.
- (2) Les échanges thermiques entre l'ambiance du compartiment en feu et ses parois verticales et horizontales peuvent ne pas être pris en considération en ventilation mécanique, mais doivent l'être en ventilation naturelle.

*NOTE : La non prise en compte des échanges thermiques réels (convectifs, radiatifs) entre le foyer et les fumées d'une part, et les parois du compartiment d'autre part, entraîne un débit d'extraction de fumée et une température moyenne des fumées supérieurs à la réalité, ce qui peut être considéré comme sécuritaire en ventilation mécanique, mais donne des résultats non réalistes en ventilation naturelle.*

- (3) Les dimensions maximales des cellules de calcul sont :

- en plan : 0,5 m x 0,5 m dans la zone du foyer et 1 m x 1 m hors cette zone;
- en élévation : 0,5 m.

avec un minimum de dix cellules dans chaque direction.

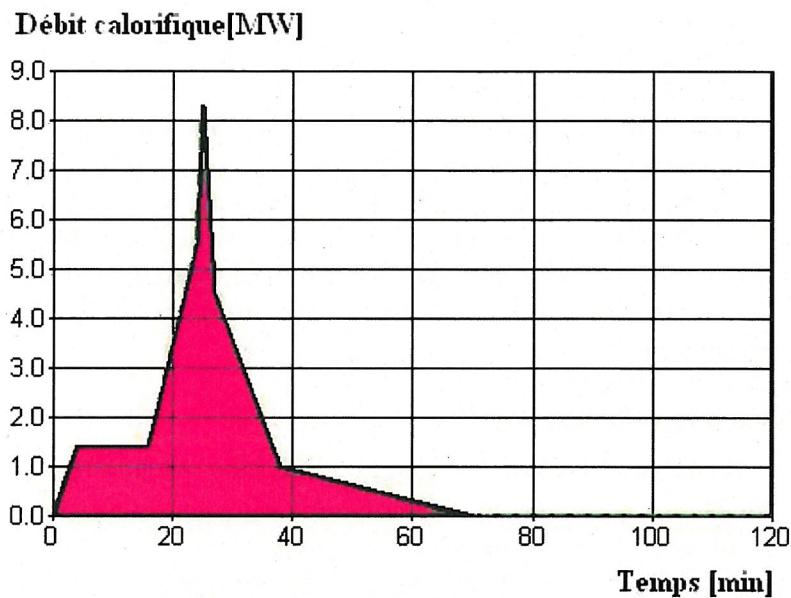
Une réduction de la taille des cellules doit être appliquée :

- pour assurer la convergence et la stabilité des grandeurs calculées,
- pour s'adapter aux dimensions du compartiment sous feu,
- pour examiner des configurations particulières.

- (4) Si la température maximale calculée à proximité du foyer (verticalement et horizontalement) est inférieure à 800°C, il faut refaire le calcul en divisant les dimensions des cellules de calcul par deux, jusqu'à obtenir une différence de températures maximales inférieure à 10% entre deux calculs successifs.
- (5) Le nombre d'itérations de calcul sur l'ensemble de la zone calculée doit être adapté et suffisant pour atteindre la stabilité des résultats calculées et une évidence de convergence.
- (6) Le contrôle de la convergence est généralement automatique ; sa visualisation doit être possible.

### 7.2.3 Données caractérisant le foyer et les fumées

L'évolution du débit calorifique total [MW] en fonction du temps [min] doit être déterminée. La figure 15 donne par exemple la courbe pour le foyer d'une voiture en feu.



**Figure 15: Exemple de débit calorifique total dégagé par l'incendie d'une voiture avec  $RHR_{max}$  de 8,3 MW à 25 minutes; ces valeurs sont basées sur des feux réels avec mesures sous hotte calorimétrique (référence: CEC Agreement 7210-SA/211/318/518/620/933-Final Report 1997).**

*NOTE : Ces données proviennent de l'analyse d'essais réels instrumentés d'incendies de voitures jusqu'à extinction naturelle. Les flux de chaleur sont relatifs à des puissances nettes. Celles-ci tiennent compte du rendement de combustion.*

*Le flux de chaleur convectif  $Q_f$  est basé sur l'équation (4) qui peut s'écrire  $Q_f = (1 - \chi'_R) Q_t$  où  $\chi'_R$  = part du flux de chaleur total rayonnée ; en cas de feux de voitures :  $\chi'_R = 0,3$ . La part du flux de chaleur total rayonnée, qui pourrait être plus élevée, tient compte :*

- de la diversité des matériaux combustibles composant une voiture ;
- du caractère peu ventilé de la combustion de ces matériaux.

*Le choix de cette valeur forfaitaire est sécuritaire ; ceci a pour conséquence une évaluation de la température moyenne des fumées supérieure à la réalité.*

*L'énergie totale dégagée par la combustion jusqu'à extinction est de l'ordre de 7GJ.*

Dans le cas d'autres types de foyers, l'évolution du débit calorifique et de la taille du foyer peut être déterminée en fonction du temps en utilisant par exemple :

la méthode de l'Annexe E de l'EN 1991-1-2.

## **7.2.4 Dossier des résultats des calculs CFD**

### **7.2.4.1 Présentation et contenu du dossier**

(1) Le dossier doit comporter au moins les parties suivantes :

- Les références du logiciel utilisé et les informations nécessaires pour l'examen de son acceptabilité
  - i. Descriptif ;
  - ii. Modèle de turbulence ;
  - iii. Modèle d'introduction du flux de chaleur convectif ;
  - iv. Références d'utilisations du logiciel ;
  - v. Validation du logiciel par rapport à des feux réels instrumentés.
- Les valeurs (graphes ou tableaux) des données introduites, relatives au foyer, les conditions aux limites, les données de vent etc. permettant le contrôle par un tiers au moyen du même logiciel ou d'un autre logiciel similaire ;
- Un chapitre « analyse » ;
- Un chapitre « conclusions » ;
- Des annexes éventuelles.

(2) Pour chaque compartiment, le dossier comprend un plan schématique de modélisation et d'implantations des

- limites architecturales et dimensions des lieux ;
- obstacles architecturaux et de structure pris en compte ;
- chemins d'évacuation et escaliers de secours ;
- rampes et voies d'accès depuis l'extérieur ;
- rampes d'accès internes éventuelles ;
- points d'introduction d'air (naturelle et/ou mécanique) ;
- points d'extraction et accélérateurs;
- parois et écrans de cantonnement de fumées éventuels.

(3) Pour les scénarios incendie, le dossier comprend les

- descriptifs fonctionnels de chaque scénario ;
- les états des équipements pour chaque scénario activé, comme par exemple « en service » ou « à l'arrêt », « ouvert » ou « fermé », « remonté » ou « descendu » etc.

(4) Pour chaque calcul CFD, les données suivantes sont à annoncer :

- dimensions des cellules de calcul et leurs distributions ;
- points d'introduction d'air, naturelle et/ou mécanique avec leurs débits ;
- points d'extraction d'air mécanique avec leurs débits ;
- accélérateurs en service et leurs sens de soufflage ;
- éventuels écrans de cantonnement de fumées ou autres fermetures.

(5) Pour chaque calcul CFD, les informations minimales suivantes sont à présenter :

- vues en plans schématiques et les vues en coupe/élévation ou en 3D ;
- localisation du foyer ;
- traces vectorielles des vitesses des flux de fumées et d'air ;
- amplitudes des vitesses des flux de fumées et d'air ;
- températures des flux de fumées et d'air ;
- concentrations des fumées.

(6) Pour chaque endroit critique indiqué sur la vue en plan, les informations suivantes sont à présenter :

- amplitudes des vitesses des flux de fumées et d'air en mouvement ;

- températures des flux de fumées et d'air en mouvement ;
- concentration des fumées.

(7) Pour chaque calcul CFD, la distribution des concentrations de fumées doit figurer sur la vue en plan.

#### **7.2.4.2 Analyse des résultats**

- (1) Les résultats sont à analyser pour chaque calcul CFD. L'analyse doit porter principalement sur la vérification de la conformité aux exigences de performance, telles que la température moyenne de la couche de fumée et la hauteur libre de fumée définies en 5.1.1.6. La hauteur est considérée comme libre de fumée si la concentration de fumée due au foyer n'est pas supérieure à 0,02 g/m<sup>3</sup>.
- (2) Si dans des endroits particuliers du compartiment en feu il s'avère impossible d'atteindre une des performances, les résultats obtenus feront l'objet d'un examen particulier. Pour ces cas critiques l'analyse des conditions de sécurité obtenues en cas d'intervention des équipes de secours sera effectuée et présentée à l'autorité compétente. Les conditions de sécurité admissibles sont déterminées en accord avec celle-ci.

#### **7.2.4.3. Moyens à mettre en œuvre en conclusion de l'étude**

- (1) Le chapitre « conclusions » doit établir les moyens à mettre en œuvre pour assurer le respect des critères de cette Instruction Technique ITM-SST 1552, sur base des calculs CFD et de leur analyse.
- (2) Pour chacun des scénarios incendie validés par un calcul CFD, le chapitre « conclusions » doit confirmer les débits à assurer ainsi que les vitesses d'air calculées à « chaud » (avec foyer) et à « froid » (sans foyer) et les températures minimales auxquelles les installations EFC doivent résister. Les vitesses d'air doivent être mesurées sur site.
- (3) Le chapitre « conclusions » doit préciser, pour les cas critiques, les conditions de sécurité admises par l'autorité compétente (voir 7.2.4.2(2)).

### **7.3 Programmes de calcul CFD disponibles**

Ce chapitre donne une brève description de deux types de modèles-feu informatisés, incluant les modèles dits « zones » et les modèles dits « champs ».

#### **7.3.1 Les modèles "Zones"**

Il s'agit en fait de programmes d'ordinateur, qui prédisent les effets du développement d'un incendie au sein d'un espace relativement compartimenté. Dans la plupart des applications, l'espace n'est pas totalement compartimenté, ce qui s'explique notamment par le fait que les portes, les fenêtres et les dispositifs d'aération sont pris en compte lors du calcul. Les modèles dits de Zones pour les compartiments ont été développés pour les configurations mono-espace et multi-espace.

Cette approche divise le volume considéré dans un certain nombre de zones, qui étant combinées, décrivent le volume visé comme étant une entièreté. A l'intérieur de chaque zone sont résolues les équations de conservation de la masse et de l'énergie. Normalement un compartiment est divisé en deux zones distinctes, la zone supérieure avec le réservoir de fumée chaude et la zone inférieure avec de l'air plus froid. Le foyer avec sa flamme agit comme une pompe thermique entre la zone inférieure et la zone supérieure remplie de fumée.

En réalité cependant, en tenant compte de la taille des locaux et du taux de dégagement de chaleur, il s'ensuit qu'il n'y a pas d'interface parfaitement définie entre la couche de fumée chaude supérieure et celle qui se situe bien plus au bas. Par conséquent, il ne s'agit en réalité pas d'une température uniforme, comme des températures nettement plus élevées sont observées à proximité du foyer même.

Toutefois, l'utilisation de l'approche des deux zones uniformes permet une simulation raisonnable du développement d'un incendie dans un compartiment sous l'effet de nombreuses variables.

Le tableau 7 ci-après donne quelques-uns des modèles dits de zone.

**Tableau 7: Liste non exhaustive de modèles "Zones"**

MODÈLE	PAYS	DESCRIPTION
ARGOS	Denmark	Modèle zone à plusieurs compartiments
CFAST	US	Modèle zone avec ensemble de pré- et postprocesseurs
CFIRE-X	Germany	Modèle zone pour des feux de compartiments
CiFi	France	Modèle zone à plusieurs compartiments
FIRST	US	Modèle zone pour un compartiment
HYSLAV	Sweden	Modèle zone avant Flash-over
MRFC	Austria	Modèle zone à plusieurs compartiments
OZONE	B/Lux	Modèle deux zones avec ventilation, masse d'oxygène, pression des gaz, incendie contrôlé par la ventilation ou le combustible

### 7.3.2 Les modèles "Champs"

Les modèles dits de champs, tout comme les modèles dits de zone, sont utilisés pour modeler le développement d'un incendie à l'intérieur d'un compartiment ou d'une série de compartiments. Alors qu'un modèle dit de zones divise le compartiment en deux zones et résout les équations de conservation de la masse et de l'énergie à l'intérieur de ces zones, un modèle dit de champs divise le compartiment en un grand nombre - de l'ordre de plusieurs milliers - d'espaces de contrôle et résout ensuite les équations de conservation à l'intérieur de chaque volume de contrôle, tout en respectant les conditions de contact entre deux volumes adjacents.

Ceci permet une solution plus détaillée, comparé aux modèles dits de zones. En plus, étant donné la présence de plus de deux zones uniformes, un modèle dit de champ peut être approprié pour des géométries bien plus complexes, où deux zones ne décrivent plus correctement le phénomène physique de l'incendie. Il peut même être utilisé pour un incendie en-dehors d'un compartiment, tel que pour un incendie de réservoir contenant du carburant et situé à l'air libre.

Le tableau 8 ci-après donne certains des modèles dits de champ, qui ont été identifiés.

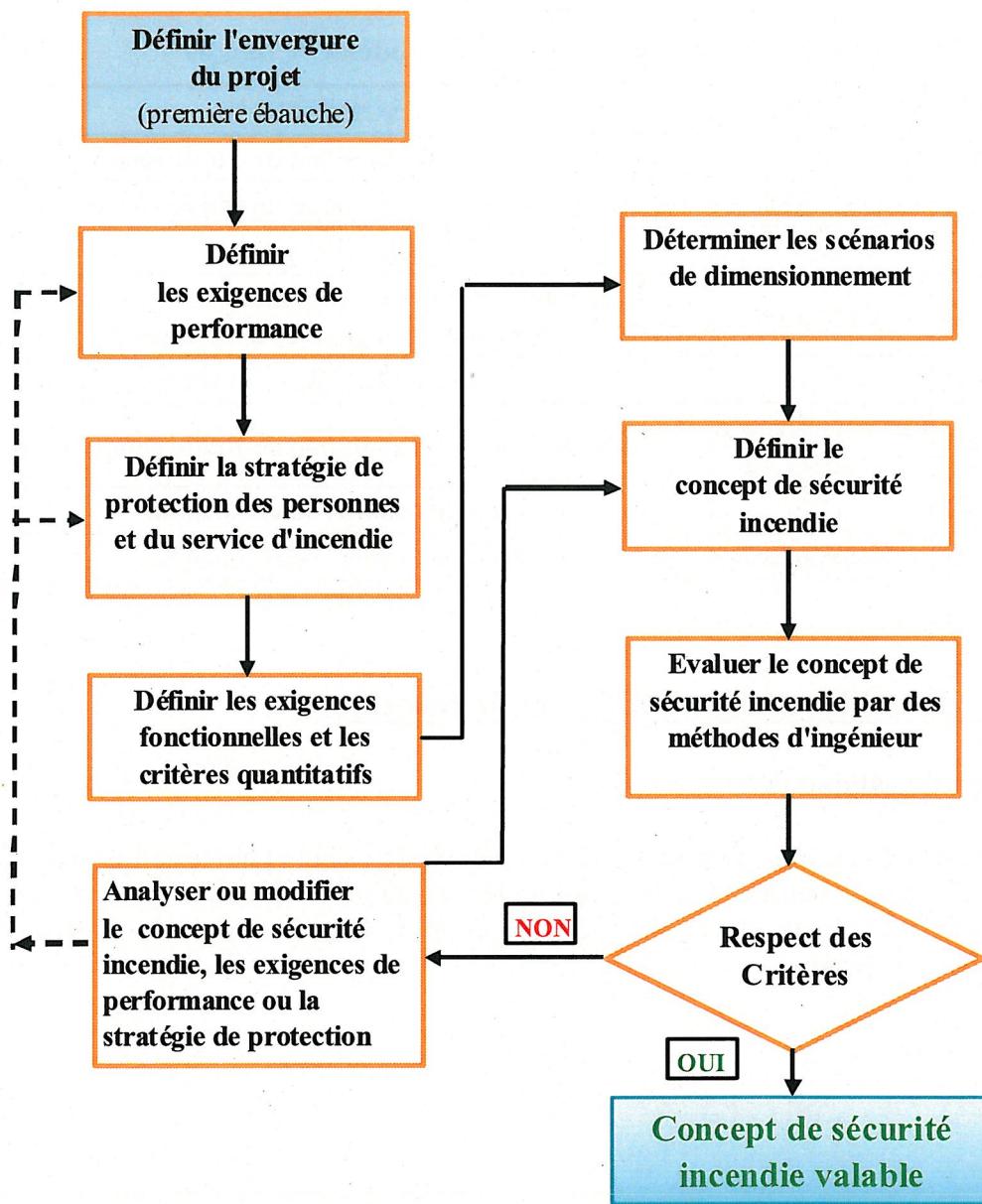
**Tableau 8: Liste non exhaustive de modèles "Champs"**

MODÈLE	PAYS	DESCRIPTION
VESTA	NL	Modèle général de dynamique de fluide sous incendie
FDS	US/ NIST	Modèle général de dynamique de fluide sous incendie
FLUENT	US	Modèle CFD général
KOBRA_3D	Germany	Modèle avec évolution des fumées et transfert de la chaleur pour des géométries complexes
PHOENICS	UK	Modèle CFD à usage multiple
PYROSIM	US/Thunderhead Engineering	Modèle général de dynamique de fluide sous incendie
SMARTFIRE	UK	Modèle champs sous incendie
SOFIE	UK/SWEDEN	Modèle champs sous incendie

## **Article 8. - Procédures de validation et de contrôle**

### **8.1 Procédure de validation**

Il s'agit d'une procédure qui valide et vérifie la méthode de calcul et qui teste l'exactitude des résultats. Le choix des scénarios d'évacuation et les programmes de calcul qui seront utilisés sont à soumettre préalablement aux autorités compétentes, selon le schéma de la figure 16 se trouvant à la page suivante.



**Figure 16: Méthodologie comprenant les phases successives de développement du concept de sécurité incendie selon ISO TC92 SC4**

Toute étude relative au calcul des installations d'évacuation de fumées et de chaleur (EFC) doit être accompagnée d'une documentation comprenant :

- des informations générales qui doivent instruire sur des imperfections éventuelles du modèle choisi, surtout sur des déficiences du modèle en rapport avec le feu. Ceci est un point très important, parce que la bonne interprétation des résultats en dépend.
- la documentation technique et le mode d'emploi du modèle montrant que les utilisateurs sont en mesure de connaître les références scientifiques de base en matière d'algorithmes. La documentation technique doit fournir aux utilisateurs des informations utiles et pratiques, notamment pour comprendre les caractéristiques du modèle.

Il s'agit en l'occurrence des informations et caractéristiques suivantes :

- définition du type d'incendie utilisé, ou les conditions physiques à respecter,
- description des lois théoriques et physiques qui sont à la base du modèle,
- équations qui règlent le processus,
- identification des hypothèses les plus importantes et leurs limites d'application,
- description des techniques et processus mathématiques, et les algorithmes utilisés,
- liste contenant les programmes auxiliaires ou les fichiers de données nécessaires,
- informations concernant les sources des données, contenus et utilisation.

## **8.2 Qualification des concepteurs**

Les concepteurs appelés à procéder à un dimensionnement d'installation EFC, doivent être ingénieurs et présenter à l'autorité compétente un certificat de réussite des épreuves d'un cours de « fire safety engineering » ou un dossier démontrant leur expérience personnelle dans ce domaine.

## **8.3 Procédure de contrôle**

Ce contrôle, considéré comme indispensable, est demandée par l'autorité compétente, et peut s'opérer de différentes façons:

- contrôle basé sur des normes,
- contrôle basé sur des données issues des exercices de prévention incendie et des tests en matière d'évacuation de fumées et de chaleur,
- contrôle basé sur des données provenant de la littérature ayant trait aux tests en matière d'évacuation de fumées et de chaleur,
- contrôle basé sur d'autres modèles.

Les organismes spécialisés qui souhaitent intervenir dans la procédure de contrôle des calculs d'une installation EFC, et d'une réalisation conforme aux résultats des calculs, doivent être préalablement agréés à cet effet comme "organisme de contrôle" par le Ministre ayant le Travail dans ses attributions.

Les conditions d'agrément et les règles d'intervention des organismes de contrôle sont déterminées par l'article 614 du Code du travail et les règlements grand-ducaux et ministériels qui en découlent dans le cadre des compétences et attributions de l'Inspection du travail et des mines.

Ceci implique notamment pour l'organisme de contrôle :

- de présenter lors de la demande d'agrément un dossier établissant la compétence du personnel dans l'ingénierie du désenfumage et démontrant que l'organisme dispose de moyens de calcul [et de matériels] appropriés.
- d'être organisé et de réaliser ses interventions de manière à garantir une totale indépendance par rapport à la démarche de conception, ce qui n'exclut pas la possibilité d'échange d'informations techniques entre l'organisme de contrôle et les auteurs de projet [et les firmes réalisant les installations].
- d'être accrédité pour ses activités au titre des normes applicables des séries EN ISO/CEI 17000 respectivement EN 45000 par l'Office Luxembourgeois d'Accréditation et de Surveillance (OLAS) de l'Institut Luxembourgeois de la Normalisation, de

l'Accréditation de la Sécurité et la qualité des produits et services (ILNAS) ou par tout autre organisme d'accréditation équivalent signataire de l'accord multilatéral pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation.

## **Article 9. - Transposition des hypothèses de dimensionnement et des résultats de calcul dans les documents d'exécution et d'exploitation**

Les aménagements prévus par le concepteur, lors du calcul des installations d'évacuation de fumées et de chaleur (EFC), doivent clairement figurer dans les notes justificatives ainsi que sur les plans de construction, afin de vérifier sans équivoque leur existence lors de la mise en exploitation de l'ouvrage.

Les notes justificatives fixent les conditions d'exploitation et décrivent les hypothèses utilisées pour l'étude d'ingénierie incendie ainsi que les recommandations déduites des résultats de cette étude. Elles donnent les différents scénarios qui impliquent la définition :

- des compartiments au feu et des cellules étudiés avec les caractéristiques de parois et des ouvertures,
- des données relatives au feu (densité de charge calorifique, débit calorifique maximal, les tailles des foyers considérés, tailles et position des foyers, vitesses de propagation),
- des mesures actives de lutte contre le feu, telles la détection des fumées, l'alarme acoustique, l'activation du désenfumage et du sprinklage, etc.
- les surfaces aérodynamiques et géométriques des entrées d'air, des exutoires de fumée et leur disposition spatiale,
- le débit des extracteurs de fumée et de la ventilation mécanique éventuelle dans les entrées d'air avec la vitesse de l'air dans les entrées d'air.

Les documents en question seront tenus à la disposition des autorités compétentes. Il est de la responsabilité du propriétaire et de l'exploitant de garantir le respect des conditions d'exploitation.

Visa du Directeur adjoint  
De l'Inspection du travail  
et des mines

s.

Robert HUBERTY

Mise en vigueur, le

s.

Paul WEBER  
Directeur  
de l'Inspection du travail  
et des mines