



Strassen, novembre 2014

- 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 1553.2

Prescriptions de prévention incendie

INSTRUCTION TECHNIQUE

Simulation d'évacuation de personnes (SEP)

à l'aide d'une approche performancielle

Le présent document comporte 34 pages

SOMMAIRE

Article	Page
1) Objectifs et domaine d'application	2
2) Définitions	3
3) Structure d'analyse des risques d'un projet	4
4) Etablissement de scénarios d'évacuation pour les analyses	25
5) Choix des méthodes de simulation, logiciels et conditions particulières à respecter	27
6) Procédures de validation et de contrôle	31
7) Transposition des hypothèses de dimensionnement et des résultats de calcul dans les documents d'exécution et d'exploitation	33

Art. 1 Objectifs et domaine d'application

La présente méthode basée sur la performance, peut être utilisée dans des immeubles complexes et innovateurs, là où l'on veut déroger à l'approche prescriptive de l'article 8 des dispositions générales et des dispositions spécifiques de la série SST 1500. Elle utilise les développements validés les plus récents de la science en matière de sécurité incendie, qui tiennent compte de l'influence de la localisation du feu, de la présence de fumée et de la stabilité au feu de la construction. L'approche peut également évaluer et valider les solutions des méthodes prescriptives.

Les dérogations peuvent porter sur

- **les distances maximales à parcourir pour l'évacuation,**
- **les largeurs des chemins d'évacuation requises en fonction du nombre d'occupants,**
- **le nombre de sorties requises,**
- **les scénarios d'évacuation,**

mais il y a lieu de respecter les prescriptions suivantes de l'article 8, à savoir :

- **les largeurs minimales prescrites pour les couloirs, escaliers, portes,**
- **le nombre minimal de 2 issues réglementaires,**
- **l'ensemble des prescriptions de l'article 8.1.**

Le choix des méthodes et des calculs les plus adaptés, dont le but est une conception correcte en matière d'évacuation, appartient dans un premier lieu aux ingénieurs.

Ce choix peut se baser sur plusieurs possibilités, notamment en partant du calcul manuel le plus simple jusqu'au calcul le plus sophistiqué que l'on puisse imaginer, à savoir par un logiciel permettant une simulation d'évacuation de personnes (SEP). Toutefois, tout ceci dépend des objectifs et du niveau de précision que l'on désire avoir.

Pour assurer une évacuation qui se déroule en toute sécurité, on doit attribuer une importance cruciale à la conception précise des voies d'évacuation et on doit vérifier

- soit la distance à parcourir pour évacuer (approche prescriptive),
- soit le temps d'évacuation (approche performancielle).

La méthode performancielle établit si le temps d'évacuation requis par les occupants est inférieur au temps d'évacuation qui est disponible pour eux. Le champ d'application de cette instruction technique consiste à mettre à disposition un support bien défini et concis pour rendre possible une stratégie d'évacuation des occupants, quel que soit l'endroit du bâtiment où ils se trouvent.

La méthode performancielle n'est applicable que si l'établissement est équipé d'une installation de détection automatique.

NOTES :

- 1) *Les modèles de simulation de feux naturels définis dans les Prescriptions ITM peuvent être utilisés pour la simulation d'évacuation de personnes, même lorsque la stabilité et la résistance au feu est vérifiée sur base du feu ISO.*
- 2) *Les autorités compétentes peuvent exiger de procéder à une étude d'évacuation des personnes selon la présente instruction technique.*

Art. 2 Définitions

2.1 Critères admissibles pour les occupants

Les critères admissibles sont les valeurs limites pour

- la **distance de visibilité** (voir article 3.2.1.1),
- la **concentration de gaz toxiques de combustion** (voir article 3.2.1.3-tableau 2 avec la classe AEGL -1),
- l'**augmentation de la température** (voir article 3.2.2- tableau 3 avec temps admissible),
- la **raréfaction d'oxygène** (voir article 3.2.3, concentration admissible),

sans qu'il y ait création d'une incapacité pour les occupants (permettant encore une auto-évacuation).

2.2 Conditions critiques pour les occupants

Les conditions critiques sont les valeurs limites pour

- la **distance de visibilité** (voir article 3.2.1.1),
- la **concentration de gaz toxiques de combustion** (voir article 3.2.1.3-tableau 2 avec la classe AEGL -2),
- l'**augmentation de la température** (voir article 3.2.2-tableau 3 avec temps critiques),
- la **raréfaction d'oxygène** (voir article 3.2.3, concentration critique),

susceptibles de présenter un danger très sérieux pour la sécurité ou la vie des occupants endéans un certain temps (rendant nécessaire l'intervention d'un tiers).

2.3 Risques et dangers de feu

Le potentiel de perdre une vie ou d'encaisser des séquelles/blessures et/ou d'avoir les biens ravagés par le feu.

2.4 Temps de détection $\Delta t_{\text{détection}}$

Temps à partir de la naissance d'un incendie jusqu'à la détection par un système manuel ou automatique. Il peut varier en fonction du scénario d'incendie, du système de détection incendie (si un tel système est installé) et de l'aptitude des occupants de détecter l'incendie.

2.5 Temps d'alarme Δt_{alarme}

Temps à partir de la détection jusqu'au déclenchement de l'alarme sélective ou générale.

2.6 Temps de réaction $\Delta t_{\text{réaction}}$

Temps depuis le déclenchement de l'alarme sélective ou générale jusqu'au moment où les derniers occupants se mettent en mouvement, et commencent donc à réagir.

2.7 Temps de déplacement $\Delta t_{\text{déplacement}}$

Temps nécessaire aux occupants pour se rendre de l'endroit où ils se trouvent, jusqu'à l'endroit qui leur offre une sécurité. Il comporte trois composantes : le temps de marche, le temps d'attente dans une file ou un embouteillage, et le temps de passage à travers une sortie.

2.7.1 Temps de marche Δt_{marche}

Temps moyen nécessaire pour permettre à tous les occupants de se rendre à la sortie.

2.7.2 Temps d'attente dans file Δt_{file}

Temps que les occupants, pendant leur évacuation, sont forcés de passer dans une file d'attente créée par un embouteillage dû à une densité de personnes à évacuer trop importante, des couloirs ou des sorties trop étroites, des obstacles inopportuns etc.

2.7.3 Temps de passage à travers une sortie Δt_{sortie}

Temps qui est nécessaire aux occupants pour passer à travers une sortie. Le temps de passage dépend notamment de la capacité de fluidité des sorties.

2.8 Temps requis par les occupants pour évacuer t_{req}

Intervalle de temps nécessaire entre la naissance d'un incendie et le moment où tous les occupants sont censés avoir atteint un lieu de sécurité (**RSET** "Required Safe Escape or Egress Time"), c'est-à-dire la somme des temps de détection, d'alarme, de réaction et de déplacement (ce temps peut être estimé ou calculé).

2.9 Temps d'évacuation disponible t_{disp}

Intervalle de temps pendant lequel les critères admissibles pour les occupants sont respectés et qui est donc disponible pour une évacuation en sécurité (**ASET** "Available Safe Escape or Egress Time"); il est calculé à partir du moment de la naissance d'un incendie jusqu'à ce que, dans un lieu spécifique d'un bâtiment donné, les critères admissibles pour les occupants sont dépassés.

Art. 3 Structure d'analyse des risques d'un projet

3.1. Généralités

La méthode de performance dépend de la comparaison entre le temps d'évacuation disponible t_{disp} et le temps requis t_{req} par les occupants pour évacuer ou pour atteindre un endroit de sécurité. Notons que t_{disp} représente le temps calculé entre le moment de la naissance d'un incendie jusqu'à ce que, dans un lieu spécifique d'un bâtiment donné, les critères admissibles pour les occupants sont dépassés à cause de la chaleur, du manque d'oxygène, des émanations toxiques et de la fumée réduisant la visibilité. On imposera donc

$$t_{\text{séc}} = t_{\text{disp}} - t_{\text{req}} > 5 \text{ à } 15 \text{ minutes} \quad (1)$$

Cette comparaison propose de fixer une marge de sécurité $t_{séc}$ qui est obtenue par la différence entre les temps t_{disp} et t_{req} . Cette marge de sécurité peut être utile pour les incertitudes concernant la prédiction de ces deux temps.

Dans les cas courants, on considère $t_{séc} = 5$ à 15 minutes comme indiqué au tableau 1 selon le type de bâtiment :

- **Type de bâtiment B1** : Bâtiment simple à un niveau de grande surface avec un compartiment et une conception simple, disposant d'un accès facile et visible ainsi que des distances courtes pour l'évacuation, ainsi qu'un nombre adéquat de sorties menant directement à l'extérieur du bâtiment (exemples : supermarché, hall industriel, etc.).
- **Type de bâtiment B2** : Bâtiment simple à compartiments multicellulaires ou à étages avec une conception intérieure normale (exemples : galeries commerciales à un niveau, immeuble de bureaux, de logements, etc.).
- **Type de bâtiment B3** : Bâtiment complexe de grande taille, qui peut comprendre l'agglomération de bâtiments existants sur le même site. Un aspect particulier consiste dans ce que la conception intérieure et les compartiments entraînent des espaces vastes et compliqués de sorte que les occupants sont confrontés à des difficultés de trouver le chemin d'évacuation. Dès lors la gestion d'une évacuation est particulièrement délicate (exemples : vieux hôtels, entrepôts, centres de loisirs, centres commerciaux, aéroports, etc.).

NOTE: Les types de bâtiments sont ceux du document "European Guideline /CFPA/ 8.6.2009 "

Tableau 1: Marge de sécurité $t_{séc}$

Type de bâtiment	B1: Grande surface à un niveau	B2: Bâtiment multi-étages	B3: Etablissement complexe de grande taille
$t_{séc}$ [min]	5	10	15

3.2 Quantification du temps d'évacuation disponible t_{disp}

En général, le temps t_{disp} dépend des effets de l'exposition des personnes au feu. L'objectif d'un calcul de t_{disp} est de définir quand les conditions dans les différentes parties d'un bâtiment sont considérées comme n'étant plus admissibles.

Calculer le temps t_{disp} dépend de la nature de l'incendie, de la concentration des fumées et des produits toxiques, ainsi que de la chaleur en fonction du temps. La concentration des fumées et la nature des produits de combustion, ainsi que leur propagation, dépendent des facteurs suivants :

- des **éléments chimiques** des substances impliquées dans le processus de combustion,
- de la **température maximale** atteinte,
- de la **concentration en oxygène**.

En général, tous ces facteurs influencent la combustion. Pour calculer le temps t_{disp} , il est nécessaire de mener une étude détaillée de l'évolution de l'incendie depuis sa naissance.

Les effets physiologiques les plus fréquents sont les suivants :

- les intoxications par les fumées,
- l'hyperthermie,

- les brûlures corporelles causées par le rayonnement thermique et les fumées chaudes,
- les brûlures des voies respiratoires causées par les fumées chaudes.

L'effet de ces facteurs peut être fortement réduit par l'action d'une installation de sprinkleurs à condition de respecter les prescriptions de l'Annexe F "Exigences spécifiques aux systèmes de protection des personnes" de la norme EN 12845 "Installations fixes de lutte contre l'incendie - Systèmes d'extinction automatiques du type sprinkleur...", notamment pour des théâtres (F.6) et en situation de maintenance (F.7).

L'effet combiné des différents facteurs est jugé comme admissible à condition que tous les facteurs pris séparément soient admissibles.

3.2.1 Effets limitant la capacité d'évacuer

La capacité d'évacuer à travers les espaces d'un bâtiment et celle de localiser des voies et des sorties de secours, dépend notamment des effets d'assombrissement visuel et d'irritation. Les deux aspects ci-dessous provoquent l'incapacité de prendre la fuite :

- la réduction de la visibilité,
- l'irritation des yeux et des voies respiratoires.

3.2.1.1 Visibilité

La visibilité est un élément très important. Une visibilité réduite diminue forcément la possibilité de trouver une sortie de secours. Ceci est valable aussi bien pour les occupants d'un bâtiment, que pour l'intervention des sapeurs-pompiers.

Un occupant est susceptible de ne pas utiliser une sortie, si la distance de visibilité est inférieure à la distance qui le sépare de cette sortie. Dans le cas de plusieurs sorties, les occupants sont susceptibles de ne pas utiliser une sortie, si la distance de visibilité est inférieure à la moitié de la distance entre deux sorties d'un local.

Ceci vaut aussi pour les sapeurs-pompiers pour leur permettre une reconnaissance aisée lors de la recherche de victimes éventuelles.

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.

La distance de visibilité D peut être évaluée par la relation $D = A/K$ en [m]

où A est une constante de référence caractérisant la visibilité avec

- pour une signalisation lumineuse, $A = 6$,
- pour une signalisation réfléchissante, $A = 2$,

et K est le coefficient d'atténuation de l'intensité lumineuse $K = [\ln(I_0/I_x)]/x$ en [m^{-1}]

où x est une distance de mesure [m] avec

- I_0 l'intensité lumineuse de la source mesurée à 20 cm du sol (à hauteur d'homme ? 1,50 m ? voir SFPE Handbook) en l'absence de fumée et

- I_x est l'intensité lumineuse mesurée à la distance x , à 20 cm du sol, en présence de fumée.

NOTES :

1) Les relations précédentes sont tirées du rapport de l'AIPCR "Maîtrise de l'incendie et des fumées dans les tunnels routiers", 1998 et les distances de visibilité D (en m) requises suivantes se rapportent aux tunnels :

- pour un déplacement facile : $D \geq 7$ m
- pour des portes et murs visibles : $D \geq 15$ m
- pour une signalisation lumineuse de $I_0 = 80$ lux : $D \geq 9$ m.

2) Exemple de calcul pour un immeuble de bureaux: Pour $A = 6$, $I_0 = 80$ lux et I_x mesuré à 10m par 5 lux en présence de fumée, on a $K = [\ln(80/5)]/10 = 0,277$ et $D = 6 / 0,277 = 21,7\text{m} < 35$ m, donc la signalisation lumineuse n'est pas conforme!!!!

3) Au cas où la distance de visibilité calculée est inférieure à la distance de visibilité requise une signalisation proche du sol est à prévoir en plus de la signalisation conventionnelle.

4) L'atténuation de l'intensité lumineuse peut être calculée par un logiciel approprié et elle dépend des matériaux combustibles qui pourraient par exemple être les suivants :

Le combustible utilisé dans les simulations est considéré à 50% de type bois et à 50% de type polyuréthane avec

** pour le bois les caractéristiques suivantes*

- composition: $C_6H_{10}O_5$
- réaction stœchiométrique: $C_6H_{10}O_5 + 6(O_2 + 3,76N_2) \rightarrow 6CO_2 + 5H_2O + 22,56N_2$
- taux de production massique de suies: 1 %
- taux de production massique de CO: 0,4 %
- chaleur de combustion: 17,5 MJ/kg (14MJ/kg réellement dégagé lors des simulations).

*** pour le polyuréthane les caractéristiques suivantes*

- composition $C_{6,3}H_{7,1}NO_{2,1}$
- réaction stœchiométrique: $C_{6,3}H_{7,1}NO_{2,1} + 7,025O_2 \rightarrow 6,3CO_2 + 3,55H_2O + 0,5N_2$
- taux de production massique de suies: 10 %
- taux de production massique de CO: 3,8 %
- chaleur de combustion: 32,5 MJ/kg (26MJ/kg réellement dégagé lors des simulations).

Ce combustible constitué à raison de 50% de type bois et de 50% de type polyuréthane est 5,5 fois plus fumigène que le combustible réglementaire de type bois.

3.2.1.2 Irritation

La fumée irritante provoque non seulement une réduction de la visibilité, mais aussi une réduction de la vitesse de mouvement des occupants.

Les irritants qui sont issus d'un incendie comportent toute une série de composants organiques, tels que l'acroléine et le formaldéhyde.

Ces composés chimiques sont susceptibles d'être présents dans des concentrations qui dépendent de la composition chimique de la matière en combustion, mais également de leurs conditions de décomposition.

3.2.1.3 Asphyxie / Toxicité

Même si les gaz de combustion se rafraîchissent finalement jusqu'à 15 °C, ils gardent néanmoins un caractère gazeux. Les gaz toxiques de combustion, les plus connus sont :

- le monoxyde de carbone (CO),
- le dioxyde de carbone (CO₂),
- l'hydrogène sulfuré (H₂S),
- l'anhydride sulfureux (SO₂),
- l'acide cyanhydrique (HCN),
- l'acide chlorhydrique (HCl),
- le dioxyde d'azote (NO₂),
- l'ammoniac (NH₃),
- l'aldéhyde acrylique (CH₂-CHCHO),
- le phosgène (COCl₂).

La valeur de référence AEGL (Acute Exposure Guidelines Levels) de la concentration de substances toxiques à laquelle une personne en bonne santé peut être exposée pendant 30 minutes, est donnée au tableau 3 pour les 3 classes de conséquences

- AEGL -1, où les personnes ressentent en moyenne un malaise,
- AEGL -2, où les personnes subissent en moyenne des préjudices graves,
- AEGL -3, où les personnes risquent de subir des séquelles mortelles.

Tableau 2: Les valeurs AEGL des produits de combustion les plus fréquents.

Substance	Formule chimique	AEGL (ppm) pendant 30 min		
		AEGL -1	AEGL -2	AEGL -3
Monoxyde de carbone	CO	(*)	150	600
Dioxyde de carbone	CO₂	10.000	70.000	100.000
Acide cyanhydrique	HCN	2,5	10	21
Ammoniac	NH₃	25	160	1600
Acide chlorhydrique	HCl	1,8	43	210

(*) pas de valeur connue

NOTES:

1) On considère que l'accès est libre de fumée si la concentration de fumée calculée n'est pas supérieure à 0,02 g/m³ en-dessous d'une hauteur de 2 m comptée à partir du sol (selon NBN S 21-208-2, Annexe B).

2) La détermination de la concentration de fumée est à établir par le concepteur de l'étude SEP.

3) Les taux de concentration des produits de combustion doivent au mieux rester limités à la classe AEGL-1, en fonction des matériaux utilisés. Les matériaux générateurs de HCN et HCl en cas d'incendie doivent notamment être réduits au strict minimum.

3.2.2 Effets dus à l'échauffement de l'air et au rayonnement thermique

La température maximale de l'air et l'intensité de rayonnement thermique acceptées par un être humain sont données au tableau 2 en fonction de l'intervalle de temps d'exposition et de la teneur en eau de l'air.

Tableau 3: Temps admissibles et critiques pour la chaleur rayonnante et convective

Mode de transfert de la chaleur	Intensité	Temps admissible	Temps critique
Radiation	3 KW/m ²	/	max. 30 s
	5 KW/m ²	/	max. 20 s
	8 KW/m ²	/	max. 4 s
Convection	40°C et humidité 100%	> 30 min	
	80°C et humidité 50 %	(*)	max. 15 min
	100°C et humidité 10%	(*)	max. 8 min
	110°C et humidité 10%	(*)	max. 6 min
	120°C et humidité 10%	(*)	max. 4 min

(*) pas de valeur connue

NOTE : Les données du tableau 2 proviennent des sources suivantes :

- BSI PD 7974-6:2004: "Human factors: Life safety strategies - Occupant evacuation, behaviour and condition", Table G.3
- VFD B TB 04-01 Mai 2009: "Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes -Tabelle 8.1 - S.251
- AIPCR rapport "Maîtrise de l'incendie et des fumées dans les tunnels routiers", 1998.

3.2.3 Raréfaction de l'oxygène

La concentration admissible d'oxygène dans l'air (en volume) doit être minimum de 18 %. Des valeurs inférieures à 15 % sont à considérer comme critiques.

3.3 Quantification du temps d'évacuation requis t_{req}

NOTE: Le contenu du présent chapitre est basé sur le document « European Guideline /CFPA/ 8.6.2009, Annexe D, pages 25 à 41 ».

3.3.1 Généralités

Le temps d'évacuation requis t_{req} dépend de quatre intervalles de temps différents, influencés par les caractéristiques comportementales et physiques des occupants, et repris aux équations (3) et (4) du paragraphe 3.3.4.3, à savoir le temps de détection $\Delta t_{détection}$, le temps d'alarme Δt_{alarme} , le temps de réaction $\Delta t_{réaction}$ et le temps de déplacement $\Delta t_{déplacement}$.

3.3.2 Temps de détection $\Delta t_{détection}$

Le temps de détection dépend de la sensibilité des détecteurs. Les concepteurs d'une installation de détection incendie automatique doivent choisir le type de détecteur le mieux adapté suivant les normes européennes ou, à défaut, les normes acceptées par les autorités compétentes.

Dans le cas d'une détection automatique de fumée conforme aux normes, on considère que le temps de détection est en moyenne de l'ordre de 30 secondes.

Les facteurs suivants sont typiques pour retarder la détection incendie :

- les caractéristiques du bâtiment,
- les caractéristiques de l'incendie, sa vitesse de propagation, les fumées en résultant, etc.

3.3.3 Le temps d'alarme Δt_{alarme}

L'estimation du temps **d'alarme** dépend du niveau d'alarme activé, à savoir :

- **l'alarme générale** (AG) ou A1 : signal sonore, message préenregistré ou autre forme d'ordre d'évacuation, ayant pour but de prévenir les occupants de l'ensemble du bâtiment d'avoir à évacuer les lieux,
- **l'alarme restreinte** (AR) ou A2 : signal d'alerte ayant pour but, dans le cas d'effectifs très importants ou en présence de personnes à mobilité réduite à évacuer, d'avertir soit le poste de sécurité de l'établissement, soit la direction ou le gardien, soit le personnel désigné à cet effet,
- **l'alarme sélective** (AS) ou A3 : alarme destinée seulement à prévenir les occupants d'une partie d'un bâtiment ou d'un établissement d'avoir à évacuer les lieux.

Une alarme générale A1 ou une alarme sélective A3 est toujours à prévoir. Le temps d'alarme Δt_{alarme} correspondant à A1 ou A3 ne peut pas dépasser 5 minutes (temps de reconnaissance éventuelle inclus). Cette valeur maximale peut être réduite à la demande des autorités compétentes (par exemple dans le cas des parkings souterrains).

En cas d'alarme restreinte A2, un temps de reconnaissance (2 à 5 minutes), est généralement inclus dans le temps d'alarme générale A1 ou sélective A3, à convenir avec les autorités compétentes.

3.3.4 Temps de réaction $\Delta t_{\text{réaction}}$

Ce temps peut être subdivisé en deux composantes:

3.3.4.1. Le temps de perception

Il s'agit du temps entre l'alarme générale A1, ou l'alarme sélective A3, et le moment où les occupants commencent à percevoir l'alarme. Ce type de temps peut aussi être divisé en deux éléments :

- **Alarme reçue** : temps pour recevoir l'alarme et en prendre conscience ;
- **Alarme perçue** : temps pour comprendre l'alarme et la nécessité d'évacuer.

Pour de simples évaluations le temps de perception le plus élevé peut être employé pour chaque groupe d'occupants. Pour des évaluations complexes, le temps de perception peut être assigné individuellement à chacun d'eux.

Les suggestions suivantes peuvent minimiser le temps de perception,

- le système devra fournir des instructions précises dans des situations d'urgence qui peuvent varier ;
- les messages oraux doivent pouvoir varier selon les différentes parties / endroits du bâtiment, afin de donner aux occupants les informations utiles quant aux actions qu'ils désirent prendre ;
- les signaux sonores d'alarme devront précéder les messages vocaux afin de capter l'attention des occupants ;
- des messages préenregistrés peuvent être utilisés dans des situations pré-planifiées ;
- dans des centres de soins, l'équipe qui y travaille doit être prête à assister les occupants dans l'évacuation.

Il est important de n'alarmer que les individus qui doivent prendre l'initiative d'agir afin de bénéficier au maximum d'un système d'alarme incendie.

3.3.4.2. Le temps de riposte

Il s'agit du temps entre la perception de l'alarme et le moment où les destinataires de l'alarme décident de réagir, mais avant le commencement de l'évacuation.

Les activités suivantes peuvent être entreprises durant le temps de riposte, à condition de ne pas compromettre l'efficacité de l'évacuation:

- déterminer la source, la réalité ou l'importance d'une alarme d'incendie ou d'intervention, éventuellement via du personnel sur le lieu de l'incendie ou des caméras de surveillance ;
- rassembler les personnes à mobilité réduite ou prioritaires (enfants, personnes âgées, etc.) ;
- déterminer la sortie de secours adéquate ;
- alarmer d'autres personnes ;
- combattre un début d'incendie ;
- arrêter les machines de production, sauver les données, etc.

Le temps de riposte peut considérablement varier pour différents individus ou groupes d'individus, se trouvant dans le même bâtiment en fonction

a) des paramètres du bâtiment tels :

- le type d'occupation ;
- la disposition des niveaux et leurs dimensions ;
- le système d'alarme, dont notamment son caractère persuasif ;
- les procédures d'évacuation prévues par la gestion de sécurité incendie ;
- l'éclairage de secours ;
- le nombre et l'emplacement des sorties de secours et la complexité de l'enceinte.

b) de l'état des occupants comme par exemple :

- le nombre et l'endroit initial des occupants ainsi que la densité des occupants d'un local qui est le nombre maximal de personnes supposées présentes pour une configuration et/ou utilisation donnée ;
- les capacités physiques et mentales des occupants ;
- les activités des occupants avant l'alarme et leur disposition à abandonner ces activités, ainsi que leurs biens personnels, pour s'enfuir ;
- les relations de famille ou de groupe sachant que la riposte aux alarmes d'incendie est différente si les personnes sont seules ou bien avec d'autres personnes ;
- les conditions de vigilance telles le jour ou la nuit ;
- le rôle et la responsabilité des occupants, ainsi un staff bien préparé et « autoritaire » pourra réduire la phase de riposte.

L'analyse de ces éléments permet la reconnaissance et l'évaluation du temps de réaction, qui est donc la somme des temps de perception et de riposte, pour chaque groupe d'occupants.

Le tableau 4 définit sept catégories d'occupation en fonction des éléments qui précèdent.

NOTE : Le tableau 4 s'inspire de la BSI PD 7974-6:2004: "Human factors: Life safety strategies - Occupant evacuation, behaviour and condition", Table 1.

Tableau 4: Catégories d'occupation

Catégories	Description de l'occupation		Exemples
a	Des occupants qui sont conscients/ réveillés et qui sont familiarisés avec le bâtiment		Bureaux, bâtiments administratifs, locaux industriels
b	Des occupants qui sont conscients/ réveillés et non-familiarisés avec le bâtiment		Magasins, centres commerciaux, expositions (foires), musées, centres de loisirs, autres établissements qui peuvent recevoir du public
c ₁	Des occupants qui sont en sommeil (susceptibles de dormir ou de ne pas être conscients)	Occupants familiarisés (occupation individuelle à long-terme)	Logements sans concierge
c ₂		Occupation gérée à long-terme	Logements avec concierge ou surveillés, maisons de repos, internats
c ₃		Occupants non-familiarisés (occupation à court-terme)	Hôtels
d	Occupants recevant des soins médicaux		Hôpitaux, maisons de soins ¹⁾
e	Transports (occupants de passage / de transit, réveillés et non-familiarisés)		Gares (ferroviaires), aéroports

1) Dans certaines circonstances, les maisons de soins peuvent être classifiées comme les caractéristiques d'occupations c₂

3.3.4.3 Quantification du temps de réaction $\Delta t_{\text{réaction}}$

Le temps de réaction est donné par le temps depuis le déclenchement de l'alarme générale ou sélective jusqu'au moment où les derniers occupants se mettent en mouvement, et commencent donc à réagir.

Le document BSI PD 7974-6 :2004 fait référence à quatre paramètres pour définir des scénarios de comportement à savoir

- les **catégories d'occupation** "a à e" selon le tableau 4,
- les **niveaux d'alarme** A1 à A3 selon 3.3.3,
- la **complexité du bâtiment** classifiée suivant les types de bâtiments B1 à B3 au tableau 1,
- les **niveaux de compétence des services de sécurité** M1 à M3 explicités ci-après.

Le service de sécurité est une équipe de personnes qui, sous la responsabilité du préposé à la sécurité, devra être en mesure d'assurer une première intervention aussi bien en cas de

malaise (premiers secours aux personnes) qu'en cas d'incendie ou tout autre sinistre (connaissance théorique et exercices pratiques). L'effectif et la qualité de l'effectif est fonction de la taille et des activités de l'établissement.

Ces personnes ont la responsabilité :

- de faire des recommandations à la gestion, notamment en identifiant les points faibles en matière de la prévention incendie,
- de remédier à des situations dangereuses ainsi que
- de contribuer le cas échéant à la gestion d'un sinistre éventuel.

L'effectif et le degré d'occupation sont définis dans les dispositions spécifiques respectives. Le personnel formé constituant ce service de sécurité devra prouver ses compétences dans les domaines suivants :

- les premiers secours,
- comprendre la nature (origines) et les dangers résultant d'un incendie,
- savoir comment un incendie se propage et comprendre son développement;
- connaître les mesures à prendre en cas d'un incendie respectivement d'un sinistre,
- être fort conscient des dangers et des dégâts résultant d'un incendie probable,
- être en mesure de distinguer les différents types d'extincteurs et savoir pour quels incendies les extincteurs sont désignés,
- savoir procéder à une reconnaissance des lieux,
- savoir attaquer des incendies de petite taille avec confiance et conscience (capacité de lutter contre un incendie),
- connaître la responsabilité du personnel concerné à l'égard de la prévention et de la prévision incendie,
- prise de toutes les mesures pour l'évacuation du public et du personnel,
- comprendre comment sont exécutées les procédures d'urgence.

Il y a trois niveaux de compétence des services de sécurité :

- **le niveau de compétence M1**: Ces personnes sont des professionnels dont le seul objectif est la sécurité de l'établissement. Le service de sécurité qu'ils assurent est de type permanent et continu, jour et nuit. Ils peuvent travailler exclusivement pour la sécurité incendie ou bien exécuter d'autres tâches en relation avec la sécurité (intrusion, contrôle d'accès, etc.);
- **le niveau de compétence M2** : Ces personnes sont désignées parmi le personnel et dispensées à temps partiel de leurs tâches normales en vue d'entretenir leurs compétences en matière de sécurité;
- **le niveau de compétence M3** : Ces personnes sont désignées parmi le personnel de l'établissement et ils sont responsables pour un étage ou un compartiment.

Le tableau 5 donne une estimation du temps de réaction pour les diverses catégories d'occupation "a à e" du tableau 4. Ce temps de réaction correspond à une distribution log normale avec le nombre des personnes commençant à bouger qui augmente rapidement, mais avec une distribution en file très étirée qui représente les traînants.

Il y a deux temps de réaction (« premovement ») à considérer, le temps de réaction des premiers occupants à bouger (1% fractile) et l'intervalle de temps entre la réaction des derniers occupants à bouger (99% fractile) et les premiers.

NOTE 1 : Les temps de réaction en minutes sont donnés pour les fractiles 1% et 99%, pour les diverses catégories d'occupation « a à e » du tableau 4, en fonction des niveaux d'alarme A1 à A3 donnés en 3.3.3, des types de bâtiments B1 à B3 du tableau 1, ainsi que des niveaux de compétences des services de sécurité M1 à M3 définis ci-devant.

NOTE 2: Le temps de réaction $\Delta t_{réaction}$ est le temps de réaction total du fractile 99% donné par

$$\Delta t_{réaction} = (\Delta t_{réaction})_{\text{fractile 1\%}} + (\Delta t_{réaction})_{\text{entre fractiles 99\% et 1\%}} \quad (2)$$

NOTE 3 : Les données du tableau 5 sont inspirées par les deux documents BSI PD 7974-6 :2004, Table C1 et VFD B TB 04-01 Mai 2009: "Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes" - Tabelle 9.5 - S.261.

Tableau 5 : Temps de réaction

Catégories	$(\Delta t_{réaction})$ fractile 1% (min)	$(\Delta t_{réaction})$ entre fractiles 99% et 1% - (min)
	I)	II)
a: Réveillé et familiarisé M1 B1-B2 A1-A2 M2 B1-B2 A1-A2 M3 B1-B2 A1-A3 Pour B3 ajouter 0,5' pour trouver le chemin; M1 devrait normalement exiger une alarme par message vocal si visiteurs non-familiarisés susceptibles d'être présents.	0,5 1 2	1 2 4
b: Réveillé et non-familiarisé M1 B1 A1-A2 M2 B1 A1-A2 M3 B1 A1-A3 Pour B2, ajouter 0,5' pour trouver le chemin; Pour B3, ajouter 1' pour trouver le chemin; M1 devrait normalement exiger une alarme par message vocal	0,5 1 2	2 3 6
c₁: En sommeil et familiarisé M2 B1 A1 M3 B1 A3 c₂: Occupation gérée M1 B2 A1-A2 M2 B2 A1-A2 M3 B2 A1-A3 c₃: En sommeil et non-familiarisé M1 B2 A1-A2 M2 B2 A1-A2 M3 B2 A1-A3 Pour B3, ajouter 1' pour trouver le chemin; M1 devrait normalement exiger une alarme par message vocal	2 4 0,5 2 4 0,5 4 8	5 10 2 5 10 2 10 20
d: Soins médicaux - Réveillé et non-familiarisé M1 B1 A1-A2 M2 B1 A1-A2 M3 B1 A1-A3 Pour B2, ajouter 0,5' pour trouver le chemin;	1 2 8	3 6 20

Pour B3, ajouter 1' pour trouver le chemin; M1 devrait normalement exiger une alarme par message vocal - En sommeil et non-familiarisé M1 B2 A1-A2 M2 B2 A1-A2 M3 B2 A1-A3 Pour B3, ajouter 1' pour trouver le chemin; M1 devrait normalement exiger une alarme par message vocal	5 (*) 10 (*) >10 (*)	10 (*) 20 (*) >20 (*)
e: Transports Réveillé et non-familiarisé M1 B3 A1-A2 M2 B3 A1-A2 M1 et M2 devraient normalement exiger une alarme par message vocal	1,5 2	4 5
NOTES : 1) Il y a une lacune au niveau des données quant au comportement d'évacuation et des temps requis pour les aspects-clés en matière de l'évacuation. C'est pour cette raison que les restrictions de la base de données devront être présentes en mémoire, lorsque l'on propose ou évalue des projets incorporant des solutions d'ingénierie en relation avec le comportement humain. 2) Le temps de réaction total du fractile 99% est donné par l'équation (2), en additionnant les valeurs correspondant aux colonnes I) et II). 3) Les périodes de temps munies d'un astérisque (*) dépendent de la présence de personnel en nombre suffisant pour assister l'évacuation des occupants souffrant d'un handicap.		

Dès qu'une valeur a été donnée au temps de réaction, la prescription BSI PD 7974-6 :2004 suggère de simplifier l'analyse complexe du temps d'évacuation (qui consiste à considérer la position de chaque occupant, le temps de réaction, le temps de déplacement et les effets de la densité des occupants sur ce temps de déplacement) en n'utilisant que deux estimations.

Cette approche peut être utilisée pour n'importe quelle enceinte de bâtiment, tout en considérant deux cas simples

- le cas où l'enceinte est peu fréquentée avec une densité de population d'un tiers de la population totale prévue ou effectif théorique,
- le cas où l'établissement contient l'entièreté de l'effectif théorique.

Dans le premier cas, le temps d'évacuation requis t_{req} dépend du temps de réaction du dernier groupe des occupants qui décide de quitter les lieux, et du temps que celui-ci nécessite pour se rendre à la sortie et pour la traverser. Aussi longtemps que la densité des occupants reste faible, leur vitesse de déplacement ne sera guère entravée, et il n'y aura pratiquement pas de file à la sortie. La vitesse de déplacement doit être considérée comme celle de l'un des derniers occupants, et qui n'est pas influencée par la densité,

$$t_{req} = \Delta t_{detection} + \Delta t_{alarme} + (\Delta t_{réaction} + \Delta t_{marche})_{fractile\ 99\%} \quad (3)$$

Dans le deuxième cas, le temps d'évacuation dépend du temps de réaction et du temps de déplacement du premier groupe des occupants décidant d'évacuer, augmenté du temps du flux à travers les sorties du reste de la population, où des files sont susceptibles de se former,

$$t_{req} = \Delta t_{detection} + \Delta t_{alarme} + (\Delta t_{réaction} + \Delta t_{marche})_{fractile\ 1\%} + \Delta t_{file} + \Delta t_{sortie} \quad (4)$$

Le second cas va normalement représenter le temps d'évacuation requis le plus long.

3.3.5 Temps de déplacement des occupants $\Delta t_{\text{déplacement}}$

Le temps de déplacement dépend de trois composantes,

1. du temps de **marche** Δt_{marche} pour franchir la distance moyenne vers un endroit de sécurité pour les occupants,
2. du temps passé **dans une file** ou un embouteillage Δt_{file} ,
3. du temps nécessaire pour **passer à travers une sortie** Δt_{sortie} .

Pour estimer les trois composantes, les éléments suivants sont à considérer :

3.3.5.1 Vitesse de marche S

Le temps de mouvement est obtenu par la somme du temps des mouvements horizontal et vertical. La littérature internationale admet comme vitesse de déplacement horizontale et non-entravée, (c'est-à-dire pour des occupants privés de toute forme de handicap physique) une valeur de 1,2 m/s à 1,25 m/s. Cette vitesse est surtout possible, si la densité de la population est inférieure à 0,5 personnes/m². Si cette densité devient plus importante, alors la vitesse de déplacement des occupants sera perturbée, elle va baisser. En effet, la vitesse de marche diminue proportionnellement avec l'augmentation de la densité. Si la densité de la population excède 4 personnes/m², la vitesse est considérée zéro, ceci en fonction de l'équation qui suit :

$$S = K - aKD = K(1-aD) \quad (5)$$

où S = vitesse de marche le long de la ligne de déplacement (m/s)

D = densité (personnes/m²)

K = facteur de vitesse (m/s) selon le tableau 6

a = constante 0,25 m²/personne

NOTE : L'équation (5) est valable pour $D \geq 0,5$ personnes/m², sinon S est constante.

Tableau 6: Facteur de vitesse K

Type de chemin d'évacuation		penne	K [m/s]
Couloir, aile de bâtiment, rampe, accès-porte		0%	1,4
Hauteur des marches (mm)		75%	1,00
Largeur des marches (mm)			
S1:	191	254	1,08
S2:	178	279	1,16
S3:	165	305	1,23
S4:	165	330	

NOTE : Le tableau 6 est basé sur le document BSI PD 7974-6:2004: "Human factors: Life safety strategies - Occupant evacuation, behaviour and condition, Table D.1"

Enfin la vitesse de marche S en (m/s), fonction de la densité des personnes et du type de chemin d'évacuation, peut être représentée par les droites de la figure 1 ci-dessous.

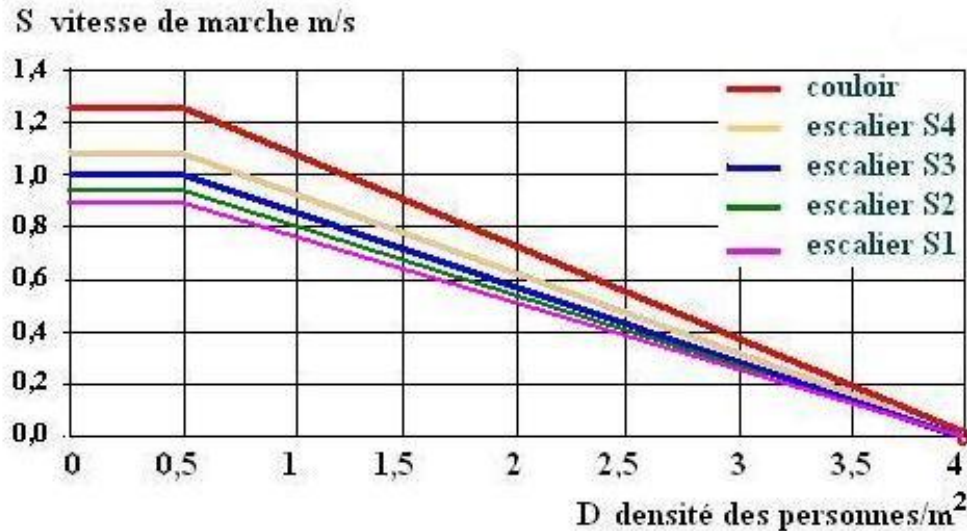


Figure 1: Vitesse de marche S, fonction de la densité de la population D

Pour des personnes âgées qui ne sont pas à mobilité réduite, et pour les enfants ayant moins de 6 ans, la vitesse de marche est estimée à environ 0,45 m/s. Pour des adultes entravés par des chariots ou des bagages, ou qui prennent les enfants par la main, cette vitesse de marche peut être réduite à 0,2 m/s.

Pour des personnes à mobilité réduite la vitesse de déplacement varie de 0,2 à 0,4 m/s. Dans le cas d'un pourcentage de personnes à mobilité réduite supérieur à 1%, c'est la vitesse des personnes à mobilité réduite qui est déterminante.

3.3.5.2 Vitesse de déplacement en pente

Dans ce cas l'équation (5) est aussi valable, les pentes étant choisies selon le tableau 6. La littérature internationale admet comme variation pour la vitesse de marche projetée en plan horizontal, pour des occupants qui ne sont pas à mobilité réduite, une valeur de 0,85 m/s à 1,1 m/s (pour une densité de la population inférieure à 0,5 personne/m²). Si la densité excède 4 personnes/m², la vitesse de marche est égale à zéro.

3.3.5.3 Flux de personnes F_s

Le flux spécifique des personnes est obtenu si l'on multiplie la vitesse par la densité. Il donne le nombre de gens, qui marchent à travers une sortie ou le long d'un couloir, par mètre de largeur effective de la porte ou de la voie de passage et par seconde, selon l'équation suivante

$$F_s = S \cdot D = (K - aKD)D = (1-aD) \cdot KD \quad (6)$$

où F_s = flux spécifique (personnes/m·s),

S = vitesse de marche le long de la ligne de déplacement (m/s),

D = densité (personnes/m²),

K = facteur de vitesse (m/s) selon le tableau 6,

a = constante 0,25 m²/personne.

NOTE : L'équation (6) est valable pour D ≥ 0,5 personnes/m², sinon F_s = S·D avec S constante.

Le flux spécifique est aussi une fonction de la densité D mais varie suivant le carré de la densité, et non linéairement avec elle comme c'est le cas pour la vitesse. Ceci est clairement indiqué à la figure 2, où F_s varie de façon parabolique.

Dans la première partie de la courbe, F_s augmente puisque la densité (personnes /m²) augmente. Pour une densité de 2 personnes/m² le flux spécifique des personnes est maximum, mais au-delà le flux spécifique des personnes diminue pour s'annuler lorsque la densité atteint 4 personnes/m². Une telle densité est trop élevée pour permettre une circulation fluide, de sorte qu'un embouteillage se crée et provoque l'arrêt du flux des personnes.

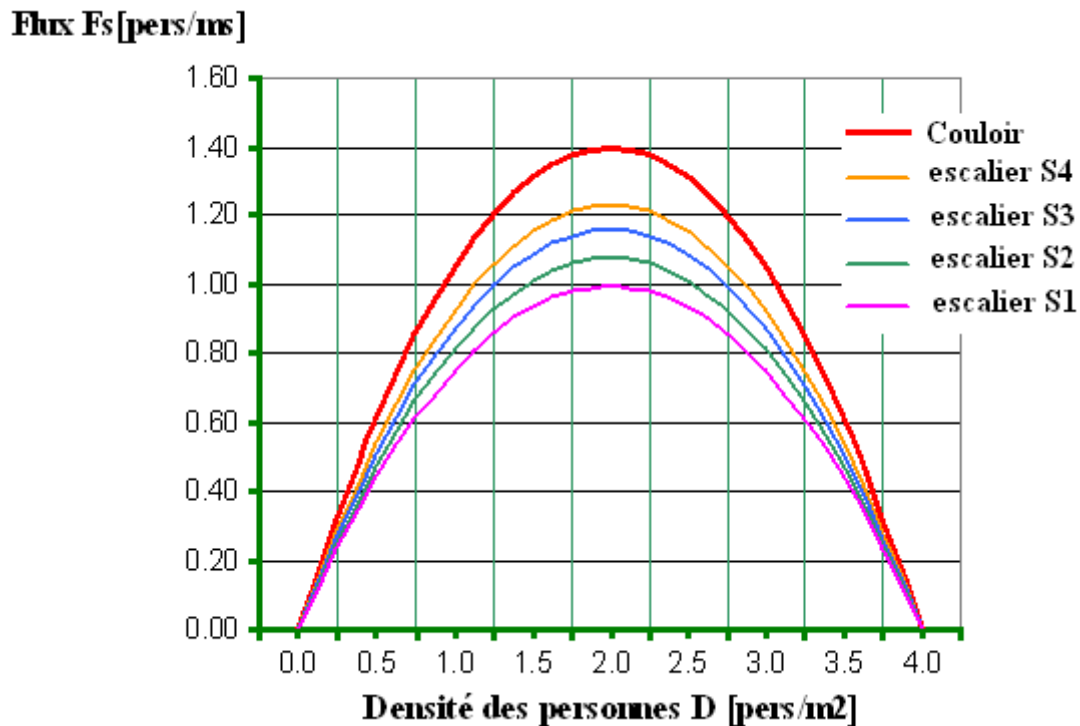


Figure 2 : Le flux spécifique des personnes F_s (personnes/ms), fonction de la densité D des personnes et du type de chemin d'évacuation.

On entend par capacité spécifique le nombre d'occupants qui marchent à travers une sortie par seconde (personnes/s). Il est donné par la multiplication du flux spécifique par la largeur effective.

3.3.5.4 Influence de la fumée sur la vitesse de marche

Il ne faut pas oublier l'impact de la fumée sur le mouvement des personnes. Les vitesses de marche en cas d'urgence, ont été établies lors d'expériences et d'observations dans un environnement sans fumée. Les paragraphes ci-devant ne tiennent pas compte des effets d'une fumée dense. Les effets physiologiques résultant de l'exposition à la fumée ont déjà été décrits précédemment. Les effets comportementaux suite à la vision de la fumée, restent à élucider. Dans un couloir envahi par la fumée, les gens ont tendance à retourner d'où ils viennent, plutôt que de poursuivre leur chemin à travers un milieu enfumé. Dans d'autres situations, lorsque les gens voient le feu derrière eux, ils ont tendance à se déplacer à travers la fumée.

La présence de fumée aura un double impact sur le mouvement :

- elle peut diminuer la probabilité que les occupants vont se déplacer vers une certaine zone enfumée ou continuer leur évacuation, p.ex. 30% des personnes vont faire demi-tour,

- elle peut réduire la vitesse de marche des occupants. En effet comme la densité et les propriétés irritantes de la fumée réduisent fortement la vue des personnes la vitesse de marche peut diminuer de 1,2 m/s à 0,3 m/s.

NOTE : Le calcul considère que l'itinéraire est libre de fumée pendant le temps d'évacuation. Si tel n'est pas le cas, une installation EFC est à prévoir selon la prescription ITM-SST 1552.

3.3.5.5 Temps dans la file d'attente Δt_{file}

A défaut d'indications plus précises, on considère la valeur par défaut $\Delta t_{\text{file}} = 30$ sec. Notons que la détermination du temps passé dans une file d'attente par suite d'un embouteillage, Δt_{file} , peut devenir difficile à évaluer dans le cas de situations plus complexes. Dans ce cas une simulation d'évacuation de personnes par un modèle de calcul adéquat s'avère indispensable (voir article 5).

3.3.5.6 Temps de passage à travers la sortie Δt_{sortie}

Concernant le temps nécessaire pour passer à travers une sortie Δt_{sortie} , il peut être obtenu moyennant la relation (6) au chapitre 3.3.5.3. Néanmoins il s'agit de considérer la largeur effective de ces sorties en déduisant notamment les obstacles tendant à réduire la fluidité de la circulation.

NOTES:

- 1) *Si l'évacuation implique des évacuations simultanées de plusieurs compartiments, à travers une seule voie de secours, couloir ou escalier, le temps d'évacuation requis t_{req} dépend de la capacité de flux de cette voie de secours, où se rassemblent les flux des différents compartiments.*
- 2) *Le flux des occupants dépend de la nature des flux en provenance des différents compartiments qui se combinent sur les paliers des escaliers de secours. Dans certains cas de circulation surchargée il se peut que le flux de personnes d'un étage d'au-dessus soit prédominant à un point tel que les occupants du dessous ne parviennent pas à évacuer aussi longtemps que ceux du dessus ne sont pas partis.*

3.4 Principes du calcul manuel selon les équations (1) à (6)

Dans ce chapitre, une tentative de calcul manuel du temps d'évacuation disponible t_{disp} et du temps requis t_{req} est présentée sur base d'un exemple de parking sous-terrain ainsi que d'un exemple concret de bâtiment pour lequel un exercice d'évacuation fut réalisé et documenté.

3.4.1 Evacuation d'un niveau de parking sous-terrain

Description de la situation:

- un niveau est donné par sa surface de 110 m x 45 m = 4950 m² avec une hauteur de 2,2 m,
- la distance maximale pour atteindre un escalier d'évacuation est de 40m,
- 50% de la surface est prise par le stationnement des voitures, d'où 2.475 m² et il y a donc au maximum, pour un emplacement de 2,5 m x 5 m = 12,5 m², 2.475 / 12,5 = 198 voitures,

- en admettant en moyenne 2 personnes par voiture on aura donc, pour la zone de circulation et servant donc de chemin d'évacuation, une densité de personnes de

$$D = 2 \times 198 / 2.475 = 0,16 \text{ personnes/m}^2.$$

NOTE : comme tous les occupants de voitures ne sont pas présents en même temps, cette valeur est sécuritaire.

- la catégorie d'occupation est a ou b selon le tableau 4,
- selon 3.3.3 on a l'alarme générale A1,
- le type de bâtiment correspond à B1 selon le tableau 1,
- le niveau de compétence des services de sécurité correspond à M2 d'après 3.3.4.3.
- il est admis que les sorties de secours sont au nombre requis par les règlements et disposent de largeurs suffisamment importantes que pour supposer qu'il n'y aura pas de formation de files.

Temps d'évacuation requis t_{req}

- Comme la densité de personnes est faible on utilise l'équation (3) donné par

$$t_{req} = \Delta t_{détection} + \Delta t_{alarme} + (\Delta t_{réaction \text{ total}} + \Delta t_{marche})_{\text{fractile 99\%}} \text{ avec}$$

- selon 3.3.2 si la détection automatique de fumée est conforme aux normes,

$$\Delta t_{détection} = 30 \text{ sec,}$$

- selon 3.3.3, si l'alarme générale est commandée lorsqu'un deuxième détecteur est activé $\Delta t_{alarme} = 30 \text{ sec}$ (lorsque l'alarme générale est commandée par la première détection, $\Delta t_{alarme} = 0$),

- selon le tableau 5, avec la combinaison (a ou b, A1, B1, M2) on obtient

$$(\Delta t_{réaction \text{ total}})_{\text{fractile 99\%}} = 1 + (2 \text{ ou } 3) = 3 \text{ à } 4 \text{ min,}$$

- l'équation (5) donne moyennant

$$D = \text{densité } 0,16 \text{ personnes/m}^2,$$

$$K = \text{facteur de vitesse } 1,4 \text{ m/s selon le tableau 6}$$

$$a = \text{constante } 0,25 \text{ m}^2/\text{personne}$$

S = vitesse de marche le long de la ligne de déplacement, constante pour une densité en-dessous de 0,5 personnes/m², est donnée par :

$$S = K(1-aD) = 1,4(1-0,25 \cdot 0,5) = 1,22 \text{ m/sec}$$

d'où $(\Delta t_{marche})_{\text{fractile 99\%}} = 40 / 1,22 = 33 \text{ sec,}$

NOTE : la majorité des personnes étant à moins de 40 m, cette valeur est sécuritaire.

et $t_{req} = 30 + 30 + 240 + 33 = 333 \text{ sec} \sim 6 \text{ minutes.}$

Temps d'évacuation disponible t_{disp}

- L'analyse de l'échauffement a été faite en admettant 2 ouvertures de 2,2 m x 1 m et sans ventilation forcée,
- le débit calorifique total variable en fonction du temps, dû à l'incendie d'une voiture, fut considéré selon la figure 3 avec RHRmax de 8,3 MW à 25 minutes,
- la température dans la couche supérieure, en-dehors de la zone du feu, reste en moyenne limitée à 50 °C alors qu'au-dessus de la voiture les températures maximales

atteignent 800°C vers 25 minutes. Pour une hauteur sous plafond de 2,2 m, la hauteur libre de fumée, suivant la figure 4, reste supérieure à 1,7 m jusqu'à 15 min.

- à condition d'être éloigné du foyer d'à peu près 15 m, on peut en déduire, selon le tableau 3 et selon l'évolution de la couche de fumée, que le temps d'évacuation disponible est donné par

$$t_{\text{disp}} = 15 \text{ minutes,}$$

- ce qui donne selon l'équation (1)

$$t_{\text{séc}} = t_{\text{disp}} - t_{\text{req}} = 15 - 6 = 9 \text{ minutes} > 5 \text{ minutes requises selon le tableau 1.}$$

Dans ce cas-ci la marge de sécurité est donc suffisante à condition bien sûr que les sorties de secours soient au nombre requis par les règlements et disposent de largeurs suffisamment importantes que pour supposer qu'il n'y aura pas de formation de files.

D'autre part la distance maximale pour atteindre un escalier d'évacuation doit être de 40 m au maximum et l'alarme est déclenchée au plus tard dès qu'un deuxième détecteur est activé.

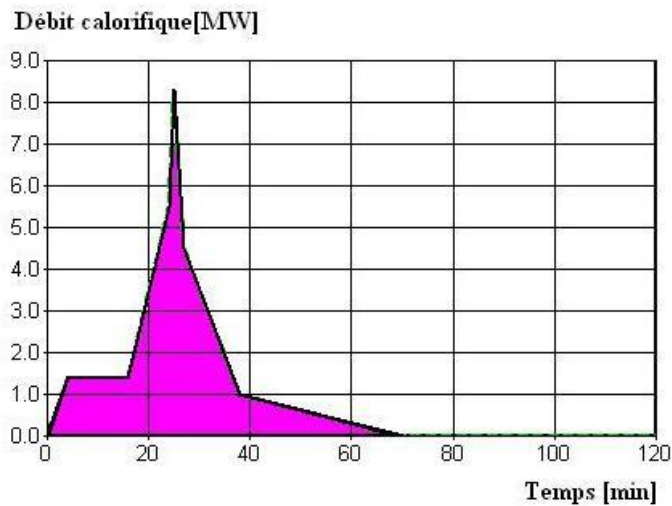


Figure 3: Débit calorifique total dégagé par l'incendie d'une voiture avec RHR_{max} de 8,3 MW à 25 minutes; ces valeurs sont basées sur des feux réels avec mesures sous hotte calorimétrique (référence : CEC Agreement 7210-SA/211/318/518/620/933-Final Report 1997).

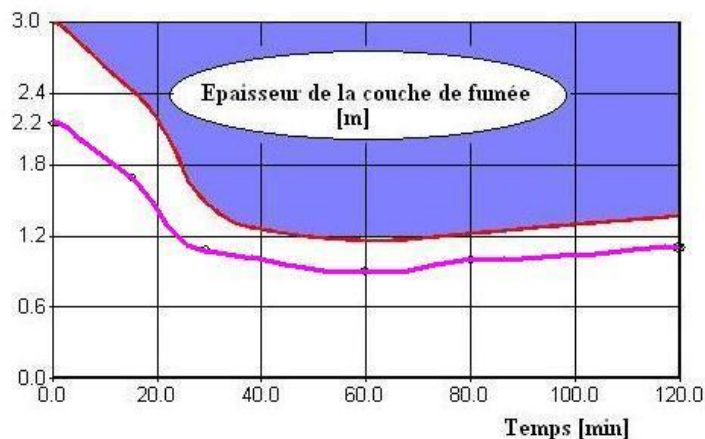


Figure 4: Epaisseur de la couche de fumée en fonction du temps

NOTE : Pour la hauteur constructive de 3 m du parking considéré, la hauteur libre de fumée reste supérieure à 2 m jusqu'à 20 minutes; pour une hauteur constructive de seulement 2,2 m la hauteur libre de fumée reste supérieure à 1,7 m jusqu'à 15 min.

3.4.2 Evacuation d'un bâtiment multi-étages

Description de la situation :

- le bâtiment dispose de 7 niveaux avec une surface utile totale de 5.930 m² et un effectif total déclaré de 610 personnes, à savoir :
 - niveau 0 : 658 m² avec 35 personnes,
 - niveau 1 : 810 m² avec 28 personnes,
 - niveau 2 : 818 m² avec 93 personnes,
 - niveau 3 : 911 m² avec 118 personnes,
 - niveau 4 : 911 m² avec 118 personnes,
 - niveau 5 : 911 m² avec 101 personnes,
 - niveau 6 : 911 m² avec 117 personnes.
- la catégorie d'occupation est "a" selon le tableau 4,
- selon 3.3.3 on a l'alarme générale A1,
- le type de bâtiment correspond à B2 selon le tableau 1,
- le niveau de compétence des services de sécurité correspond à M2 d'après 3.3.4.3.

Temps d'évacuation requis t_{req} pour le niveau 3

- selon 3.3.2 si la détection automatique de fumée est conforme aux normes,
 - $\Delta t_{détection} = 30sec,$
 - selon 3.3.3 il y a lieu de prendre en compte un temps de reconnaissance,
 - $\Delta t_{alarme} = 5 \text{ minutes},$
 - selon le tableau 5, avec la combinaison (a, A1, B2, M2) on obtient
 - $(\Delta t_{réaction \text{ total}})_{fractile \ 99\%} = 1 + 2 = 3 \text{ minutes},$
 - l'équation (5) donne moyennant
 - $D_{niveau} = \text{densité à l'intérieur du niveau 3} = 118/911 = 0,13 \text{ personnes/m}^2,$
 - $K = \text{facteur de vitesse } 1,4 \text{ m/s selon le tableau 6}$
 - $a = \text{constante } 0,25 \text{ m}^2/\text{personne}$
 - $S = \text{vitesse de marche à l'intérieur du niveau 3, constante pour une densité en-dessous de } 0,5 \text{ personnes/m}^2, \text{ et donnée par}$
 - $S = K(1-aD_{niveau}) = 1,4(1-0,25 \cdot 0,13) = 1,22 \text{ m/sec.}$
 - Concernant le passage à travers la porte de sortie, de largeur effective de 1,05 m, vers la cage d'escaliers, l'équation (6) donne moyennant
 - $D = \text{densité au droit de la porte}$
 - $\sim D_{niveau} (\text{largeur du compartiment} / \text{largeur de la porte})$
 - $= 0,13 (15 / 1,05) = 1,86 \text{ personnes/m}^2,$
- d'où $F_s = (1-aD) \cdot KD = (1-0,25 \cdot 1,86) 1,4 \cdot 1,86 = 1,39 \text{ personnes/m} \cdot \text{sec},$
 $F_{s, 1,05m} = 1,39 \cdot 1,05 = 1,46 \text{ personnes/sec}$

- ce qui permet d'obtenir le temps de passage à travers la porte de sortie vers la cage d'escaliers en admettant que les 118 occupants du niveau 3 se partagent à égalité entre les deux cages d'escaliers existants

$$\Delta t_{\text{sortie vers escaliers}} = (0,5 \cdot 118) / (1,46) \sim 41 \text{ sec.}$$

- Concernant le passage dans la cage d'escaliers on note une largeur des escaliers de 1,2 m et une hauteur des marches de 191 mm, dès lors catégorie S1 selon le tableau 6, et une hauteur totale à franchir du niveau 3 au niveau 0 de $3(18 \cdot 0,191 \text{ m}) = 10,31 \text{ m}$
- la distance horizontale à franchir du niveau 3 au niveau 0 et donc pratiquement jusqu'à la sortie du bâtiment est de l'ordre de $3(2 \cdot 3 \text{ m} + 2 \cdot 1,5 \text{ m}) = 27 \text{ m}$.

d'où densité dans la cage d'escaliers $D \sim 1,86(1,05 / 1,2) = 1,63 \text{ personnes/m}^2$,

S = vitesse de marche dans les escaliers est donnée par (avec K selon tableau 6)

$$S = K(1-aD) = 1,0(1-0,25 \cdot 1,63) = 0,59 \text{ m/sec,}$$

$$\Delta t_{\text{marche dans escaliers}} = 27 / 0,59 = 47 \text{ sec.}$$

- L'approche précédente serait correcte s'il n'y avait pas de formation de file à l'entrée vers les escaliers, ce qui est néanmoins le cas selon l'équation (6)

$$F_s = (1-aD) \cdot KD = (1-0,25 \cdot 1,63) 1,0 \cdot 1,63 = 0,96 \text{ personnes/m} \cdot \text{sec,}$$

$$F_{s, 1,2m} = 0,96 \cdot 1,2 = 1,16 \text{ personnes/sec} < 1,46 \text{ personnes/sec} = F_{s, 1,05m},$$

et le flux spécifique à travers la porte de sortie vers la cage d'escaliers ne peut atteindre

que $F_{s, 1,05m} = 1,16 \text{ personnes/sec}$

d'où $\Delta t'_{\text{sortie vers escaliers}} = (0,5 \cdot 118) / (1,16) \sim 51 \text{ sec.}$

Dès lors on a selon l'équation (3)

$$t_{\text{req}} = \Delta t_{\text{détection}} + \Delta t_{\text{alarme}} + (\Delta t_{\text{réaction}})_{\text{fractile 99\%}} + \Delta t'_{\text{sortie vers escaliers}} + \Delta t_{\text{marche dans escaliers}}$$

$$t_{\text{req}}^{\text{niv 3}} = 30 + 300 + 180 + 51 + 47 = 608 \text{ sec} \sim 10 \text{ minutes}$$

NOTES :

1) Le cas précédent indique que l'évacuation du niveau 3 ne pose pas de problème malgré la formation d'une légère file à la sortie vers les escaliers. Mais il faudrait évacuer prioritairement l'étage en feu, les autres étages seraient à évacuer ultérieurement.

2) Si p.ex. le niveau 4 est évacué en même temps, cela provoquerait dans les escaliers entre les niveaux 3 et 0 une densité donnée par

$$D = 2 \cdot 1,63 = 3,26 \text{ personnes/m}^2$$

et $S = K(1-aD) = 1,0(1-0,25 \cdot 3,26) = 0,18 \text{ m/sec,}$

donc le temps de marche pour descendre du niveau 3 au niveau 0 serait de

$$\Delta t_{\text{marche dans escaliers}} = 27 / 0,18 = 150 \text{ sec,}$$

et $t_{\text{req}}^{\text{niv 3}} = 608 - 47 + 150 = 711 \text{ sec} \sim 12 \text{ minutes.}$

3) En cas d'alarme générale avec évacuation simultanée de tous les niveaux, le temps requis sera nettement plus élevé. Il doit néanmoins respecter l'équation (1) et le tableau 1.

3.5 Dérogations admissibles par rapport aux prescriptions moyennant des simulations numériques.

Cela permettra notamment d'améliorer le flux des personnes par des dispositifs structurant la circulation au droit d'un goulot, d'un croisement, d'une déviation etc.

L'exemple suivant concerne l'évacuation, à travers un couloir de 30 m de long et de 1,5 m de large, de 200 personnes d'un local de rassemblement de 100 m² (10 m x 10 m, densité de personnes $D = 200/100 = 2$ personne/m²), situé au rez-de-chaussée.

En utilisant l'équation (5) on obtient

$$S = K(1-aD) = 1,4(1-0,25 \cdot 2) = 0,7 \text{ m/sec}$$

et on admet une largeur des personnes de 45 cm, ainsi que $\Delta t_{\text{réaction}} = 10$ sec, alors que les portes d'accès et de sortie du couloir ont une largeur de 0,9 m.

Dès lors le temps ($\Delta t_{\text{réaction}} + \Delta t_{\text{déplacement}}$), nécessaire pour évacuer toutes les 200 personnes jusqu'à la sortie du couloir à l'air libre, et obtenu sur base du logiciel "PATHFINDER 2009.2", est de 396 sec!!!

En passant à des portes d'accès et de sortie du couloir de 1,2 m ce temps se réduit à 281 sec, alors qu'avec des portes de 1,5 m ce temps devient 232 sec.

De la sorte on empêche les embouteillages devant les portes, mais il y a toujours une évacuation désordonnée dans le couloir même, qui manifestement est trop étroit. Ce n'est qu'en passant à un couloir de 2,5 m de largeur et des portes de même largeur de 2,5 m que le temps ($\Delta t_{\text{réaction}} + \Delta t_{\text{déplacement}}$) diminue à 172 sec.

Si le couloir comprend une déviation à angle droit, tout en gardant la longueur totale du couloir de 30 m, un embouteillage se forme avant la déviation (voir figure 5) et n'est résorbé qu'en prévoyant une déviation progressive de 2 fois 45° ou en installant une séparation à mi-largeur avant et dans la déviation. Cette dernière disposition n'est évidemment pas praticable pour des raisons de circulation d'objets plus larges, tels des brancards ou des occupants à mobilité réduite.

NOTES :

1) Afin d'arriver à évacuer un nombre important d'occupants, les couloirs d'évacuation ainsi que les portes de secours s'ouvrant sur les couloirs devraient avoir une largeur de l'ordre de 5 à 6 fois l'encombrement d'une personne.

2) Des couloirs d'évacuation performants ne doivent jamais être déviés à angle droit, mais doivent suivre, si possible, une déviation progressive de 2 fois 45°.

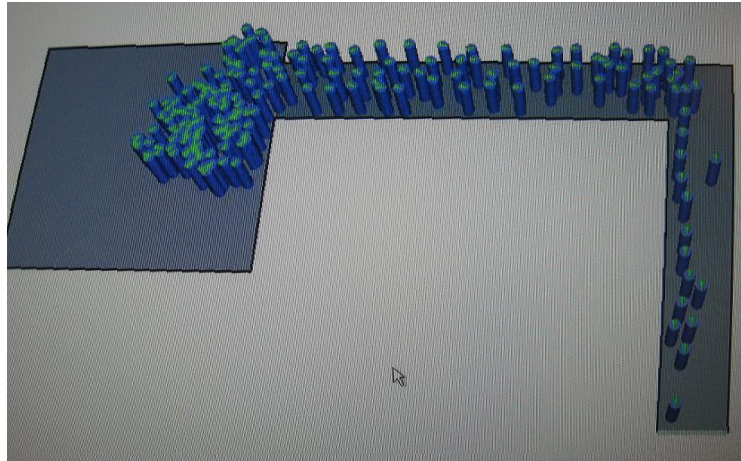


Figure 5: Exemple de l'évacuation de 200 personnes à travers un couloir de 2,5 m de large; un embouteillage se forme à la sortie vers le couloir mais aussi dans le couloir même avant sa déviation à angle droit.

Art. 4 Etablissement de scénarios d'évacuation pour les analyses

Pour un bâtiment donné, les scénarios d'évacuation les plus défavorables doivent être déterminés en accord avec les autorités compétentes.

Pour chaque scénario déterminé, une simulation de l'évacuation est réalisée, et sur base de celle-ci, on vérifie pour l'incendie en question les critères d'enfumage et d'échauffement.

L'élaboration de scénarios de feu, tout en utilisant un modèle de simulation de feu, ont comme objectif de déterminer

- le mouvement de progression du feu et des fumées,
- la concentration des gaz toxiques et
- la température de la fumée.

Ces paramètres seront comparés avec les critères dits admissibles pour les occupants ou "tenability criteria", qui ont été choisis pour le calcul du temps d'évacuation disponible t_{disp} au chapitre 3.2.

Il est essentiel d'identifier les possibilités pour un incendie de causer préjudice aux occupants, à la structure du bâtiment ainsi qu'à son contenu.

Pour chaque scénario, trois types de caractéristiques doivent être définis :

- les caractéristiques de l'incendie,
- les caractéristiques du bâtiment et
- les caractéristiques des occupants.

4.1 Les caractéristiques de l'incendie

Les caractéristiques suivantes sont à définir :

- la nature des matières combustibles,
- l'arrangement géométrique du/ des combustible(s),
- la géométrie de l'enceinte,
- l'inflammabilité des matières combustibles,

- les caractéristiques du débit calorifique ou RHR "Rate of Heat Release",
- la ventilation par suite de portes et fenêtres ouvertes ou cassées,
- le flux de chaleur s'échappant vers l'extérieur des ouvertures,
- la grandeur des surfaces exposées au feu,
- les systèmes d'extinction.

Il y a lieu de noter que les caractéristiques du type de combustible (quantité, type, temps et séquence d'ignition) et évidemment aussi les conditions de ventilation, dépendant des caractéristiques géométriques de l'enceinte, sont d'une importance considérable, lorsqu'il s'agit de déterminer le débit calorifique total (MW) lors de l'incendie. Comme détaillé à l'Instruction Technique ITM-SST 1551, Articles 3.2 et 4, tout incendie passe par une suite de phases (voir figure 6) telles que

- l'ignition, due à diverses causes,
- la croissance jusqu'au flash-over entraînant la mise au feu de tous les combustibles du compartiment,
- le feu pleinement développé avec débit calorifique, appelé RHR "Rate of Heat Release", constant (MW) ; notons que la fin de ce plateau correspond au moment où 70% de la charge au feu disponible est consommée,
- la décroissance,
- l'extinction par manque de charge au feu.

Lorsque des sprinklers sont implantés, la croissance du feu sera arrêtée avant flash-over et la masse de la charge au feu ne sera pas engagée.

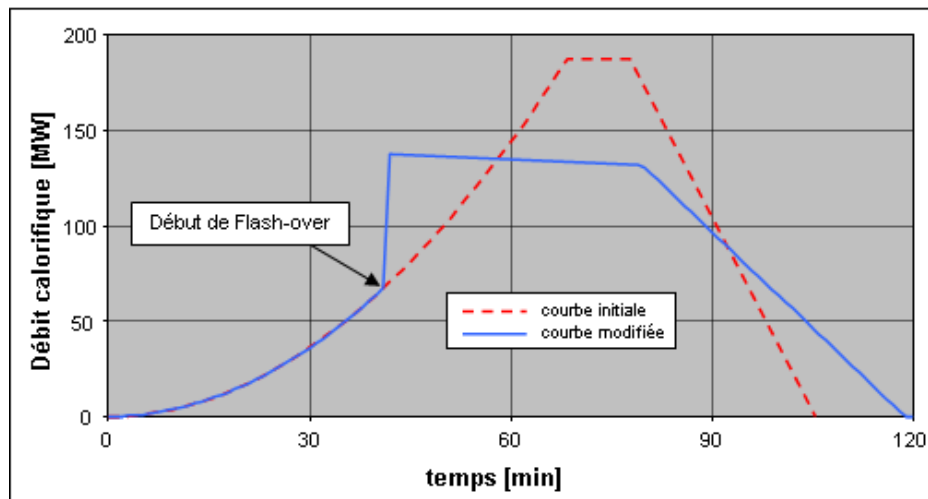


Figure 6: Evolution du débit calorifique total RHR [MW] dans un compartiment; la courbe bleue modifiée par le flash-over (embrasement généralisé) et par l'oxygène disponible couvre évidemment la même surface que la courbe initiale rouge.

4.2 Les caractéristiques du bâtiment

Les caractéristiques du bâtiment doivent être décrites de façon détaillée et avec soin, notamment en ce qui concerne sa structure portante, son compartimentage, son contenu et les conditions environnementales. Ceci va influencer l'évacuation des occupants, la croissance et le développement de l'incendie, aussi bien que le mouvement et la diffusion des gaz combustibles.

De manière générale, il faut donc considérer les caractéristiques suivantes :

- **les caractéristiques architecturales** telles les hauteurs, largeurs et caractéristiques thermiques de l'enceinte,
- **les caractéristiques de la structure,**
- **le type d'occupation du bâtiment,**
- **la présence de systèmes de détection incendie,**
- **la présence d'installations d'extinction fixes,**
- **le temps d'intervention des équipes internes d'urgence,**
- **les facteurs environnementaux,**
- **la présence de ventilation naturelle et/ou mécanique.**

4.3 Les caractéristiques des occupants

Dans le cadre de la détermination de la capacité de procéder à l'évacuation des occupants en cas d'urgence, les caractéristiques des occupants devront être définies. D'une façon générale, il y a lieu de considérer les facteurs suivants :

- **le nombre des occupants,**
- **la répartition des occupants dans le bâtiment,**
- **la vigilance des occupants p.ex. endormis ou réveillés,**
- **le type d'occupants** (par ex. : hôpitaux, centres pénitentiaires, logements, etc.)
- **la capacité physique, sensorielle ou mentale des occupants,**
- **la familiarité de l'occupant** avec les alentours.

Art. 5 Choix des méthodes de simulation, logiciels et conditions particulières à respecter

Les logiciels de **simulation d'évacuation de personnes**, (SEP) se subdivisent en deux approches différentes

- le modèle dit de « **mouvement et de comportement** »,
- le modèle dit « **hydraulique** ».

Le premier modèle considère les caractéristiques physiques des bâtiments avec leur configuration spatiale, et les caractéristiques et réactions des individus envers des stimulations externes causées par un incendie tels les temps de réaction, le comportement individuel, etc.

Le second modèle considère les personnes plutôt comme des « objets », qui répondent automatiquement envers des stimulations externes, traitant la population au sein d'un bâtiment comme une masse et non comme des « individus ».

Au sein de ces modèles, il y a en plus la possibilité de représenter :

- les compartiments des bâtiments,
- les habitants et leur comportement,
- le type de simulation.

Finalement, la simulation elle-même peut être abordée de trois manières différentes, à savoir l'optimisation, la simulation et l'évaluation des risques.

Les **modèles d'optimisation** partent du principe que les gens sont évacués de manière efficace, tout en prenant le meilleur choix dans chaque situation donnée avec chemins d'évacuation optimaux, et tout en considérant que les caractéristiques du flux des gens et des sorties soient conformes aux dispositions prescrites. Pourtant, ces modèles tendent à considérer uniquement de grandes populations d'occupants.

Les **modèles de simulation** sont calibrés sur le mouvement et le comportement observés durant des évacuations réelles. C'est pour cette raison que les résultats tendent à varier fortement d'un modèle à l'autre.

Les **modèles de l'évaluation des risques** essaient d'identifier les risques et dangers d'une évacuation en cas d'incendie. Cette approche numérique nécessite toutefois un grand nombre de calculs, reproduisant des variations des paramètres conformes à leurs distributions statistiques.

Un même modèle d'évacuation, le meilleur pour chaque situation, n'existe pas. La décision d'adopter un modèle particulier dépend notamment des moyens de calcul disponibles.

A titre d'exemple est présenté, dans les figures 7 à 10, la simulation d'évacuation de 194 personnes occupant les 5 niveaux à 0 m, 3 m, 6 m, 9 m et 12 m d'un bâtiment. Comme le niveau à 9 m contient une salle de conférences avec 95 personnes, 2 sorties de secours y sont prévues. L'évacuation se fait finalement dans pratiquement 4 minutes sachant que

- **la vitesse de marche** a été fixée à 1,25 m/sec pour les étages à 0 m, 3 m et 6 m, à 0,8 m/sec pour le niveau à 9 m et à 0,5 m/sec pour le niveau à 12 m,
- **l'évacuation se fait avec un décalage** par rapport à l'alarme de 10 sec. au niveau 0 m, de 20 sec au niveau 3 m, de 30 sec au niveau 6 m, de 60 sec au niveau 9 m et de 120 sec au niveau 12 m.

Finalement les niveaux à 0 m, 3 m et 6 m seront complètement évacués après 70 sec, le niveau à 9 m après 185 sec. et le niveau à 12 m après 241 sec.

Ces temps d'évacuation assez courts proviennent du fait d'avoir prévu 2 sorties de secours et de laisser évacuer les différents niveaux avec décalage temporel en laissant partir d'abord les personnes des étages inférieurs. Si tous les étages sont évacués en sens inverse et si surtout il n'existe qu'un seul escalier commun d'évacuation, le temps d'évacuation ou $t_{req} \equiv (RSET)$, du fait des embouteillages inévitables et des files de personnes en résultant, peut facilement être doublé jusqu'à 8 minutes.

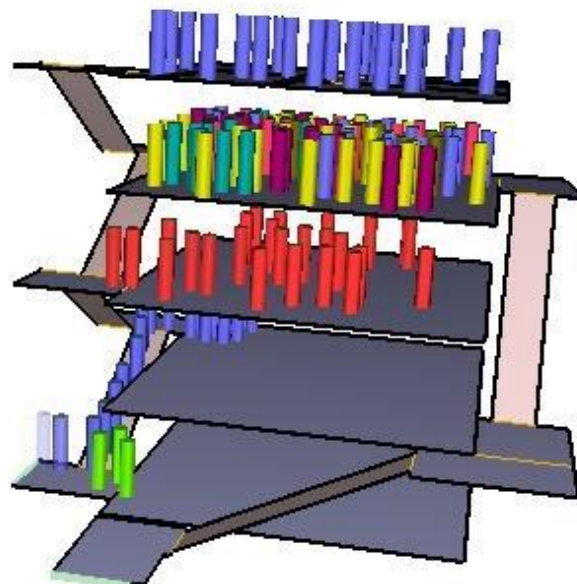
NOTES :

1) *L'étude de simulation d'évacuation décrite ci-devant est réalisée sur base du logiciel "PATHFINDER 2009.2" de la société THUNDERHEAD Engineering de Manhattan, Kansas, USA.*

2) Un autre logiciel utilisable pour simuler une évacuation de personnes est le soft "Fire Dynamics Simulator with Evacuation", du NIST - VTT.

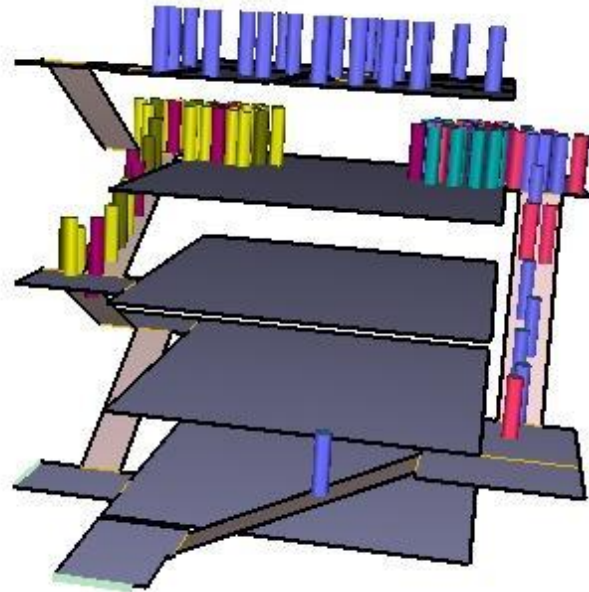


Figure 7: Personnes présentes aux différents niveaux avant l'alarme.



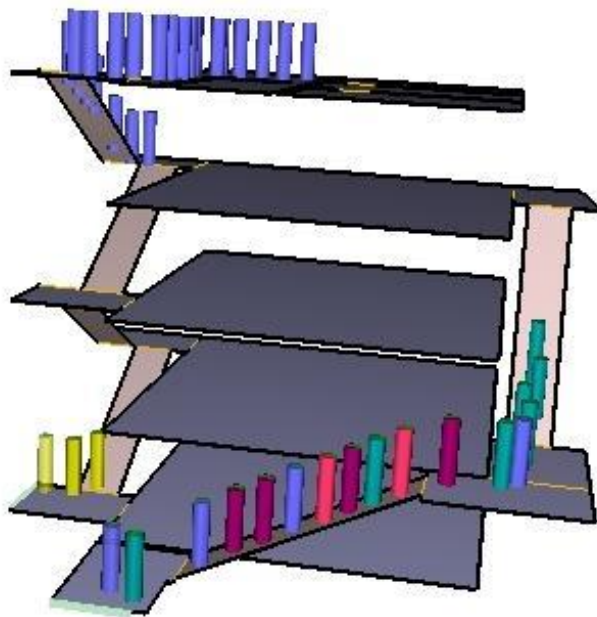
00:31.2

Figure 8: Situation d'évacuation vers 31 sec.



01:18.0

Figure 9: Situation d'évacuation vers 78 sec.



02:23.6

Figure 10: Situation d'évacuation vers 144 sec.

Art. 6. - Procédures de validation et de contrôle

6.1. Procédure de validation

Il s'agit d'une **procédure qui valide** et vérifie le software, 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 11.

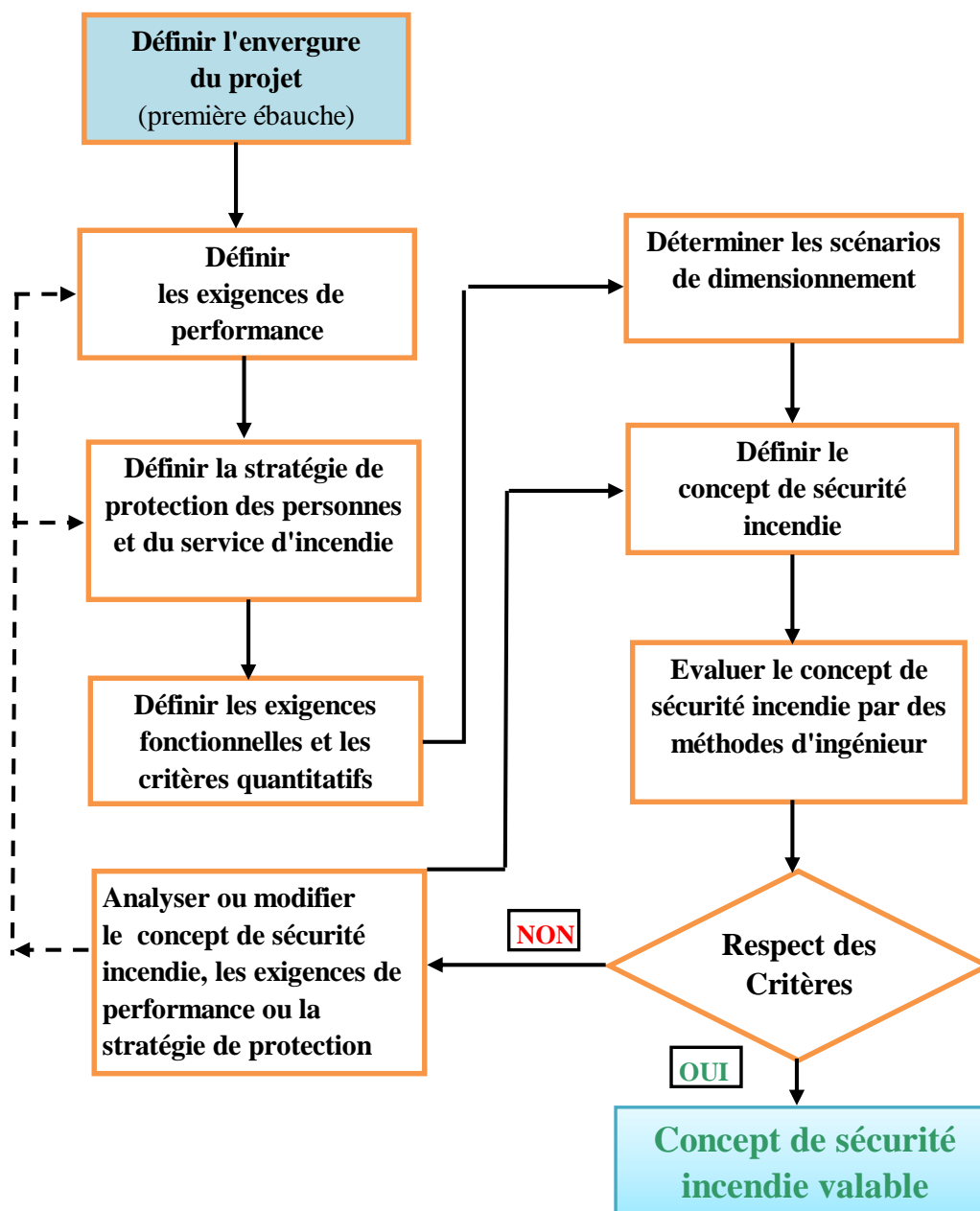


Figure 11: Méthodologie comprenant les phases successives de développement du concept de sécurité incendie selon ISO TC92 SC4

Toute étude relative à une simulation d'évacuation de personnes (SEP) 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, leurs contenus et leur utilisation.

6.2. Qualification des concepteurs

Les concepteurs appelés à procéder à une simulation d'évacuation de personnes SEP, 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.

6.3. 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,
- contrôle basé sur des données provenant de la littérature ayant trait aux tests
- en matière d'évacuation,
- contrôle basé sur d'autres méthodes.

Les organismes spécialisés qui souhaitent intervenir dans la procédure de contrôle des calculs d'une simulation SEP, et d'une réalisation conforme aux résultats de calcul, 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 concernée 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.

Art. 7. - 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 de l'analyse d'une simulation d'évacuation des personnes, 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.

Des 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 d'évacuation 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
- des distances maximales à parcourir pour l'évacuation,
- des largeurs des chemins d'évacuation, des escaliers et des portes,
- du nombre des occupants,
- du nombre de sorties requises.

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.

Mise en vigueur, le

s.

Robert HUBERTY
Directeur
de l'Inspection du travail
et des mines