

---

# HAAGEN

Fire Training Products

---

**L'utilisation de générateurs de fumée  
pendant les exercices de sapeurs-  
pompiers et de services de secours en  
entreprises**



© HAAGEN FIRE TRAINING PRODUCTS

## Table des matières :

	page
<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>1. Production et types de fumée</b>	<b>2</b>
<b>2. Générateurs et liquides de fumée</b>	<b>2</b>
2.1 Le fonctionnement d'un générateur de fumée	3
2.2 Les différences entre appareils	3
<b>3. Terrain d'application des générateurs de fumée</b>	<b>3</b>
3.1 De quelle quantité de fumée avez-vous besoin ?	4
3.2 Fonctionnement en continu	4
3.3 Possibilités de commande	4
3.4 L'importance de la consommation d'électricité	4
<b>4. Qualité de fumée</b>	<b>4</b>
4.1 Efficacité	5
4.2 Taille des particules	5
4.3 Echangeur thermique	5
4.4 Résidu	5
<b>5. Effets nocifs et utilisation en toute sécurité de fumée d'entraînement</b>	<b>6</b>
5.1 Sécurité de la « fumée » des machines à base de glycol (VLEP)	6
5.2 Température de l'échangeur thermique	7
5.3 Propriétés physiques	7
<b>6. Générateurs de fumée HAAGEN</b>	<b>7</b>
6.1 Les caractéristiques des générateurs de fumée HAAGEN ETNA et VESUVIUS	7
6.2 Mesures faites avec un générateur de fumée ETNA	7
<b>7. Système d'enfumage</b>	<b>10</b>
<b>8. Les questions les plus souvent posées au sujet de l'utilisation de fumée d'entraînement et les masques respiratoires</b>	<b>10</b>
8.1 La fumée d'entraînement nuit-elle à la santé ?	10
8.2 Quelles mesures de sécurité faut-il prendre pour travailler en toute sécurité avec de la fumée d'entraînement ?	10
8.3 Comment éviter des retombées grasses ?	12
8.4 L'utilisation d'autres sortes de liquide fumigène	13
<b>Notions</b>	<b>13</b>
<b>Références</b>	<b>13</b>

### © Haagen Rookgeneratoren B.V.

Rapport: HFTP0107.CS20060628FR

Revisie: 1.1

Datum: 28-06-2006

auteur: C. Severijns / EB

## INTRODUCTION

Les entraînements des sapeurs-pompiers et des services de secours en entreprise doivent régulièrement inclure la simulation d'une situation dangereuse. On veut parfois produire de la fumée sans faire de feu, ce qui constitue dans la vie réelle le plus souvent la vraie source de fumée. Dans ces situations là, on utilise de la « fumée d'entraînement », produite à l'aide d'un générateur de fumée.

C'est une méthode simple pour produire de la fumée, mais il est judicieux d'évaluer d'abord ses besoins. Il existe un grand nombre de générateurs de fumée, chacun destiné à une application particulière. Leurs caractéristiques et possibilités de maniement y sont adaptés. En utilisant des générateurs de fumée, il faut prendre en compte le fait qu'ils nécessitent des produits chimiques pouvant constituer un élément de danger.

Ce rapport a pour objet d'expliquer les différentes facettes de la production de fumée au moyen de générateurs de fumée, pour en promouvoir une utilisation responsable.

### 1. Production et types de fumée

Il existe deux méthodes de production de fumée :

1. Réaction chimique de certains composés, dérivé de la manière de formation de fumée pendant des processus de combustion ordinaires.
2. Pulvérisation de certains liquides, ce qui produit des petites gouttelettes (aérosols).

Une fumée d'entraînement créée au moyen d'une réaction chimique est appelée, le plus souvent, une fumée « pyrotechnique ». Toutes sortes de composants sont ajoutées au combustible ou une combinaison chimique particulière est fabriquée pour améliorer la production et les caractéristiques de la fumée. Une fumée produite d'une telle manière contient des composés nocifs pour la santé. Ce genre de génération de fumée est populaire dans les applications militaires à cause du caractère compact de la méthode ; il suffit d'une quantité limitée de produits pour provoquer la combustion. Il est déconseillé de se servir de ce type de fumée quand la formation n'inclut pas de protection adaptée.

Pour créer une fumée d'entraînement, on applique la deuxième méthode. Il s'agit le plus souvent du chauffage et de la pulvérisation d'un « liquide fumigène » au moyen d'un générateur de fumée. On ne devrait d'ailleurs pas l'appeler « fumée », puisqu'une fumée est constituée de particules solides alors qu'il s'agit ici d'une brume (des très petites particules liquides). On utilise souvent les termes anglais « fog » (brouillard) et « haze » (brume). Le terme « haze » est le plus souvent utilisé quand la fumée se disperse rapidement et est transparente et uniforme. « Fog » signifie des nuages de fumée qui restent en place plus longtemps. Par simplicité, nous utiliserons le terme « fumée ».

Pour obtenir une bonne qualité de fumée, il est nécessaire de fabriquer des gouttes infiniment petites. C'est pour cette raison qu'on utilise habituellement des gaz ou vapeurs qui se dilatent rapidement. Le liquide à pulvériser contient un composant qui fournit les petites particules et un autre qui produit un gaz fortement dilatant quand chauffé.

### 2. Générateurs et liquides de fumée

Des générateurs de fumée sont souvent utilisés dans des discothèques, des théâtres et pour d'autres applications professionnelles. Aujourd'hui, beaucoup d'appareils destinés principalement à l'usage domestique sont aussi vendus. La plupart des générateurs de fumée fonctionnent avec un liquide fumigène « à base d'eau », et contiennent donc des substances actives se diluant bien dans l'eau. Beaucoup d'appareils fonctionnent parfaitement avec différentes sortes de liquide fumigène. Ils ont un domaine d'application étendu. Il existe plusieurs sortes de liquides avec des appellations différentes en fonction du fabricant. La fumée produite peut avoir une épaisseur, un poids, une valeur de réflexion et un temps de dispersion différents.

Les substances actives sont le plus souvent un mélange de différents glycols et/ou glycérides. La fumée produite est blanche/grise. Un liquide fumigène contenant beaucoup de glycérine supporte des températures un peu plus élevées.

Par ailleurs, il existe des générateurs de fumée fonctionnant avec de l'huile minérale comme liquide fumigène. Une fumée à base d'huile est purement blanche, se disperse moins vite et peut être utilisée à température élevée (jusqu'à 180°C). Cette méthode nécessite un appareil plus complexe et un gaz propulseur inerte (CO<sub>2</sub>). Ces appareils sont généralement utilisés quand la fumée à base d'eau ne suffit plus.

Seules les fumées pyrotechniques permettent de produire une fumée colorée. Il existe pourtant des liquides fumigènes de couleur, mais ils produisent une fumée blanche/grise et sont pollués par des colorants qui risquent de détériorer le générateur de fumée.

Pour obtenir une bonne production de fumée, le générateur et le liquide doivent être adaptés l'un à l'autre. La suite de ce rapport ne s'intéresse qu'aux fumées et générateurs de fumée « à base d'eau ».

### **2.1 Le fonctionnement d'un générateur de fumée**

Bien qu'il existe des grandes différences de conception et de qualité des éléments utilisés, tous les générateurs fonctionnent de la même manière. Le liquide fumigène est transporté par une pompe à haute pression, du réservoir à travers un échangeur thermique. Cet échangeur est maintenu à haute température et provoque l'évaporation du liquide. Ce processus est aussi appelé « flashing ». Le liquide se dilate rapidement et forme de minuscules gouttelettes. La vapeur franchit sous pression la buse de sortie (nozzle) et se mélange à l'air froid à l'extérieur du générateur en formant alors un aérosol opaque perçu comme de la fumée.

Différents éléments sont cruciaux pour la qualité du générateur de fumée, aussi bien pour un bon fonctionnement que pour la fiabilité et la pérennité.

- La conception de l'échangeur thermique est très importante. Il détermine en grande partie si le liquide fumigène est bien converti en fumée ou pas et donc la qualité et la quantité de la fumée.
- L'échangeur doit rester à la température optimale selon le liquide fumigène utilisé.
- La pompe doit être adaptée à l'échangeur thermique.

### **2.2 Les différences entre appareils**

Quelles sont les différences entre un générateur de fumée « ordinaire », un appareil de fumée à batterie / appareil à aérosol, un hazer et un appareil « low-smoke » ?

Un générateur de fumée « ordinaire » produit une bouffée de fumée visible. Dans la plupart des cas, il a besoin d'une période de réchauffe en cours d'utilisation, sauf quand l'appareil dispose de l'option « continuous smoke ». Cela signifie qu'il est capable de produire de la fumée en continu. Certains appareils sont capables de produire plusieurs sortes de fumée : de très claire à très dense. Le plus souvent cela dépend du type de liquide fumigène utilisé.

Les appareils à batterie ou sans fil n'ont pas besoin d'être branchés au réseau électrique pour fonctionner. Ils ont une capacité limitée et ne permettent d'enfumer que des pièces de faibles volumes, telles qu'une chambre d'hôtel, avant de recharger la batterie. Pour obtenir des plus grandes quantités de fumée, il existe les appareils à aérosol. Ils se « chargent » tout seul en électricité. Ensuite, ils fonctionnent pendant 20 minutes au moyen d'un liquide spécial dans une capsule sous pression.

Les hazers (brumisateurs) ne produisent pas de bouffée de fumée, mais une brume. Ils sont capables de produire cette brume en continu, ou de la maintenir à niveau, mais il est difficile de remplir une pièce d'une fumée épaisse avec ce genre d'appareil. Ils conviennent pour la création d'une atmosphère enfumée. Combiné avec des effets de lumière, ils peuvent être utilisés pour les exercices des services de secours en entreprise et les exercices d'évacuation. Ils ont pour avantage de consommer peu de liquide fumigène.

Les machines low-smoke refroidissent fortement la fumée, pour que celle-ci reste près du sol. Un exercice en combinaison de protection avec un appareil low-smoke donne une image plus réaliste que le même exercice avec un appareil à fumée « normal » ou avec un masque aveuglant. Un masque aveuglant ou un appareil à fumée « normal » réduit la visibilité de la personne en combinaison de protection dans tout son champ de vision, alors qu'un appareil low-smoke l'empêche seulement de voir où il pose ses pieds.

## **3. Terrain d'application des générateurs de fumée**

Les générateurs de fumée sont surtout utilisés dans les théâtres ou les discothèques. Par ailleurs, il existe des applications professionnelles, comme les exercices des pompiers ou la recherche de fuite dans les tuyauteries. Si l'on veut comparer des générateurs de fumée, il faut, entre autres, penser aux points suivants :

- La **production de fumée** : de quelle quantité et de quelle sorte de fumée avez-vous besoin ? Combien de fumée la machine peut-elle produire (en continu) ? Quel est le rendement, ou quel volume de liquide fumigène consomme la machine pour produire une certaine quantité de fumée ?
- Les **possibilités de commande** : Comment voulez-vous commander la machine ?
- La **consommation électrique** : quel courant électrique est disponible à l'endroit où la machine sera utilisée le plus souvent ?
- **L'utilisation** : Comment voulez-vous transporter la machine ? Comment remplit-on la machine ?
- La **qualité** de la machine : Quelle sera la fréquence d'utilisation de la machine ? Le service après-vente est-il garanti ?

### **3.1 De quelle quantité de fumée avez-vous besoin ?**

Il existe différentes utilisations de fumée. Parfois, vous voulez une fumée épaisse, d'autres fois une brume légère ou une fumée qui reste au plafond ou au sol. Pour la plupart des exercices des pompiers et des services de secours en entreprises, les générateurs de fumée « normaux » suffisent (ceux qui sont capables de produire une grande quantité de fumée en continu). Si vous souhaitez seulement une brume légère, le « hazer » est une bonne alternative au générateur de fumée. Pour obtenir le résultat souhaité, il est important de réfléchir aussi à la sorte de fumée (et liquide fumigène).

### **3.2 Fonctionnement en continu**

Les machines à fumée bon marché doivent réchauffer pendant un certain temps après avoir produit de la fumée. Après une période de réchauffage, elles peuvent produire de la fumée pendant un certain temps, et ainsi de suite. La température de l'échangeur thermique peut tellement baisser, que la qualité de la fumée est réduite. Si vous voulez produire de la fumée pendant une longue période, vous avez besoin d'une machine qui fonctionne en continu. Mais attention : certaines machines ayant l'appellation « continu », ne le sont qu'à demie puissance !

### **3.3 Possibilités de commande**

Il existe des machines avec des possibilités de commandes diverses :

- Stand alone, ou bien sur la machine même. Au moins un bouton « fog » est présent pour démarrer la production de fumée. Certains appareils sont pourvus de minuteurs pour les éteindre et rallumer automatiquement, etc.
- Une télécommande à fil : le bouton « fog » se trouve sur la télécommande qui est connectée à l'appareil par un fil. Cette télécommande est parfois aussi équipée d'un minuteur.
- Une télécommande sans fil : le bouton « fog » se trouve sur la télécommande en contact radio avec la machine.
- Une entrée analogique : la machine peut être commandée au moyen d'un signal électrique (0 – 10 Volt).
- Une interface DMX : la machine peut être connectée à un système de pilotage centralisé.

DMX est un protocole permettant la connexion de différents appareils de théâtre entre eux rendant possible le pilotage à partir d'un point central. Ce protocole est un standard international.

### **3.4 L'importance de la consommation d'électricité**

Si vos exercices ont souvent lieu sur site, il est important de définir le genre de site. Si c'est un site industriel, il est possible de choisir une machine à fumée plus puissante. Le courant électrique y est probablement suffisant. S'il s'agit de bureaux, il faut mieux choisir une machine plus légère ou une machine dont on peut limiter la consommation électrique, puisqu'il y a moins de courant disponible. Pour des endroits sans alimentation électrique, vous pouvez choisir des machines à batterie ou aérosol.

## **4. Qualité de fumée**

Pour obtenir une bonne qualité de fumée, il est important de prendre en compte les points suivants. La température de l'échangeur thermique doit toujours rester suffisante et invariable. La température optimale dépend de la composition du liquide de fumée, de la conception de l'échangeur thermique et de la pompe. Quand la température est trop basse, l'évaporation et la transformation en particules de fumée ne

sont pas suffisantes, ce qui produit une fumée « mouillée ». Quand la température est trop élevée, certains composants du liquide de fumée peuvent se dégrader, ce qui peut libérer des substances toxiques.

#### **4.1 Efficacité**

Plus on peut produire de fumée avec une même quantité de liquide fumigène, mieux c'est. Les frais de consommation sont alors les moins élevés. Malheureusement, il n'est pas possible de mesurer de manière précise la quantité de fumée. Elle est souvent décrite selon la quantité qui limite la vue à partir d'une certaine distance, par exemple la longueur d'un bras ou 1,5 m. Parfois, le fabricant ne donne aucune référence ; pour les machines de discothèque les indications sont souvent très optimistes.

La quantité et les caractéristiques de la fumée sont, entre autres, déterminés par le pourcentage et la qualité des substances actives contenues dans le liquide fumigène et par la qualité de l'échangeur thermique. Pour une création optimale d'aérosol (fumée), l'échangeur thermique et le liquide fumigène doivent être adaptés.

#### **4.2 Taille des particules**

La taille optimale des particules se situe entre 200 et 1000 nm (0,2 et 1 µm). Les plus petites particules disparaissent rapidement par évaporation et agglomération, pendant que les plus grandes retombent trop vite. (La vitesse de retombée des petites particules est bien moins grande que celle des plus grandes). Aussi peut-on produire moins de ces grandes particules avec une quantité donnée de liquide fumigène. Pour obtenir un même effet, il faudra utiliser plus de liquide, ce qui augmente les frais de consommation. En pratique, le plus souvent un déplacement d'air a lieu, ce qui agit sur les effets tels que la retombée et l'évaporation et une partie des particules de fumée sera emportée par le vent.

#### **4.3 Echangeur thermique**

Pour obtenir une transformation optimale de liquide fumigène en fumée, l'échangeur thermique doit avoir des dimensions précises. La maîtrise de la température est aussi très importante. Les mesures de température destinées au réglage doivent avoir lieu à l'intérieur de l'échangeur thermique. Si les mesures sont faites à l'extérieur, les températures peuvent trop monter ou descendre à l'intérieur. Quand la température est trop basse, l'évaporation et la transformation en particules de fumée ne sont pas suffisantes, et donnent une fumée « mouillée ». Quand la température est trop élevée, certains composants du liquide de fumée peuvent se dégrader, et libérer des substances toxiques, tels qu'acroléine, formaldéhyde et acétaldéhyde. Un système d'échangeur thermique, fabriqué avec une grande précision, à l'intérieur duquel le liquide fumigène est évaporé, est donc préférable.

#### **4.4 Résidu**

La fumée d'entraînement se compose de vapeur et d'aérosols de liquide fumigène. C'est de la vapeur d'eau et de minuscules gouttelettes de glycols. Quand une pièce est remplie de beaucoup de fumée, il y a un risque de retombée permanente, un résidu.

Tant que la pression de saturation n'a pas été atteinte, l'évaporation peut avoir lieu et la fumée ne donnera pas de résidu permanent. On peut le comparer avec la vapeur d'eau : sa pression de vapeur est faible comparée à la pression d'air. L'air à une température donnée ne peut contenir qu'une certaine quantité de vapeur d'eau. Quand cette quantité atteint une limite maximale définie, la vapeur se condense trop et des gouttes apparaissent ; l'humidité relative est alors de 100%. Cette quantité (maximale) fournit une tension maximale de vapeur, la tension de vapeur de saturation qui dépend fortement de la température. A 20°C elle est d'environ 22 mbar ; 1 kg d'air de 20°C peut contenir 14,9 g d'eau.

Les glycols utilisés ont une tension de vapeur basse, de 0,013 à 0,13 mbar à 20°C, ce qui réduit la quantité de vapeur présente dans l'air. Quand la concentration de fumée est plus élevée, il y a un risque de retombées. La quantité de résidus dépend alors fortement de la ventilation de la pièce concernée.

Quand la fumée sortant du générateur contient trop de grandes particules, elle donnera une sensation d'humidité. Ces grandes particules s'évaporent moins vite et augmentent le risque de développement de résidus.

## 5. Effets nocifs et utilisation en toute sécurité de fumée d'entraînement

Chaque liquide fumigène produit une fumée plus ou moins nocive pour la santé. Quand la production de fumée n'est pas trop importante et l'aération suffisante, la concentration reste sous la VLEP (Valeur Limite d'Exposition Professionnelle) pour les substances utilisées (ou comparables), mais en cas de concentrations élevées, comme il peut arriver pendant des exercices de sapeurs pompiers, la VLEP peut être largement dépassée.

Cependant, il ne faut pas tout de suite paniquer si la concentration de fumée est trop élevée, mais il est conseillé d'utiliser une protection respiratoire comme un masque avec un conduit de filtration A2/P3. Le conduit de filtration A2/P3 peut être utilisé jusqu'à 30 fois la VLEP.

Les sociétés annonçant une fumée non-nocive dans leurs publicités sont pour le moins négligente. On ne peut déclarer une fumée « non-nocive » uniquement si des concentrations minimales sont utilisées et quand le temps d'exposition est très court.

### 5.1 Sécurité de la « fumée » des machines à base de glycol (VLEP)

Quand on étudie les effets de la fumée sur la santé humaine, deux aspects sont importants. Premièrement, les effets nocifs des substances dont est composé la fumée. Il est possible de trouver des renseignements à ce sujet dans la littérature, par exemple dans les cartes de chimie. Dans ces ouvrages, les risques sur la santé sont exprimés en VLEP (Valeur Limite d'Exposition Professionnelle). Il s'agit des concentrations maximales d'une substance tolérées dans l'air pour un travail quotidien sans conséquences dommageables pour l'homme. Quand on travaille en contact avec cette substance sans prendre de mesures de protection, sa concentration doit toujours rester sous la VLEP. Les VLEP citées concernent le plus souvent une substance sous forme gazeuse. S'il s'agit de particules solides ou liquides dans l'air, on donne généralement des VLEP plus basses. Les termes suivants sont utilisés :

- VME : la Valeur limite de Moyenne d'Exposition à ne pas dépasser pendant 8 heures. Le plus souvent il s'agit d'une moyenne durant une journée de travail de 8 heures. Pendant cette période, les concentrations peuvent fluctuer, sans toutefois dépasser la VLCT.
- VLCT : la Valeur Limite d'exposition à Court Terme mesurée sur une période de 15 min. La concentration ne devra pas dépasser cette valeur. Puisqu'il est difficile de mesurer la concentration pendant une période très courte, la moyenne est généralement calculée sur une période de 15 minutes.

Pour les aérosols des substances (glycols) contenues dans le liquide fumigène, la VME est, selon les normes les plus courantes, de 10 mg/m<sup>3</sup>.

Pour la vapeur, un chiffre plus élevé est appliqué, qui peut différer selon les organismes. En 2001, le SER (Conseil Social Economique, Pays-Bas) a instauré des VME de 52 mg/m<sup>3</sup> et des VLCT de 104 mg/m<sup>3</sup> pour la substance apparentée éthylène glycol en forme gazeuse.

L'hypothèse du Dr Kehrer, Université de Texas, (lettre du 6 juin 1995) est qu'une exposition 20 fois supérieure (de la norme pour les aérosols) ne serait pas encore dangereuse.

Appliqué à nos VESUVIUS et ETNA, il est possible de déterminer la limite au-delà laquelle il faut utiliser une protection respiratoire. Pour raisons pratiques, nous supposons une répartition régulière de la fumée dans un espace clos et l'utilisation du liquide fumigène HAAGEN. La retombée des particules de fumée n'est pas pris en compte, mais se produira quand même.

L'ETNA transforme au maximum env. 40 g de substance active par minute en aérosols (+ vapeur).

Ainsi la limite de 10 mg dans un volume de 1 m<sup>3</sup> est atteinte en environ 0,015 s et 20 fois cette limite en 0,3 s (-> **comptez donc 0,3 s par m<sup>3</sup>**). Par exemple, quand on se trouve dans une pièce de 100 m<sup>3</sup> avec un ETNA produisant de la fumée au-delà de 100 x 0,3 = 30 secondes, il est conseillé d'utiliser une protection respiratoire.

Le VESUVIUS transforme au maximum env. 80 gram de substance active par minute en aérosols (+ vapeur).

Ainsi la limite de 10 mg dans une pièce de 1 m<sup>3</sup> est atteint en env. 0,0075 s et 20 fois cette limite en 0,15 s (-> **comptez donc 0,15 s par m<sup>3</sup>**). Par exemple, quand on se trouve dans une pièce de 100 m<sup>3</sup> avec un VESUVIUS produisant de la fumée au-delà de 100 x 0,15 = 15 secondes, il est conseillé d'utiliser une protection respiratoire.

La visibilité dans ces cas est encore d'environ 1 mètre. Au fur et à mesure que la concentration augmente, une exposition de plus en plus courte nécessite une protection respiratoire !

## **5.2 Température de l'échangeur thermique**

La nocivité de la fumée ne vient pas seulement des substances utilisées, mais aussi de la température de l'échangeur thermique. A 370°C, une température possible pour certaines machines à fumée, des produits de dégradation de glycols se forment, tels que l'acroléine, le formaldéhyde et l'acétaldéhyde. Ce sont des substances fortement irritant pour les yeux et les voies respiratoires. [Cohen]

## **5.3 Propriétés physiques**

A part les propriétés toxiques de la fumée, il existe certains propriétés physiques qui déterminent une partie du risque sanitaire de la fumée :

- Alors que la concentration de substances gazeuses dans l'air est limitée par leur pression de vapeur, la concentration de substances solides ou liquides est illimitée.
- Les particules de fumée peuvent avoir tendance à attirer et se lier sélectivement avec des gaz, vapeurs et autres substances solides présentes dans l'air. De cette façon, des substances présentes dans l'air, mais en concentration basse et inoffensive, peuvent se concentrer dans les particules de fumée et atteindre des valeurs trop élevées.
- Des particules de fumée solides ou liquides sont souvent interceptées effectivement dans les voies respiratoires (les poumons), contrairement aux substances gazeuses qui après inhalation sont expirées en grande partie. L'efficacité d'interception des particules de fumée et l'endroit dans les poumons où les gouttes sont interceptées dépendent largement de la dimension des particules. La figure ci-dessous montre que les petites particules ( $< 1 \mu\text{m}$ ) s'enfoncent plus loin dans les poumons puisqu'elles ne sont pas interceptées dans le pharynx. Les particules de  $5 \mu\text{m}$  et plus sont interceptées directement dans le pharynx et la première partie du poumon.
- Quand une goutte est interceptée dans le poumon, elle peut y rester longtemps puisque toute dépend de la vitesse d'évaporation ou d'absorption dans le sang. Ainsi une « fumée » aspirée aura des effets plus durables, probablement encore après l'exposition à la fumée, qu'un gaz aspiré.

## **6. Générateurs de fumée HAAGEN**

### **6.1 Les caractéristiques des générateurs de fumée HAAGEN ETNA et VESUVIUS**

Des générateurs de fumée fonctionnant en continu, pilotés par processeur.  
Développé spécialement pour l'utilisation industrielle, comme les exercices des sapeurs pompiers.  
Grande puissance, possibilité d'une grande production de fumée en continu.  
Possibilité de réduire la puissance de moitié quand l'alimentation électrique n'est pas suffisante.  
Grand rendement. Production de fumée jusqu'à  $450 \text{ m}^3/\text{min}$  pour l'ETNA et  $1000 \text{ m}^3/\text{min}$  pour le VESUVIUS\*.

Pourvu de pièces de qualité, comme une pompe à piston industrielle à haute pression et un échangeur thermique fabriqué industriellement.

Réglage de température précis, mesure à l'intérieur de l'échangeur thermique.

Equipé d'un minuteur électronique et d'un réglage électronique de la quantité de fumée.

Affichage électronique de panne.

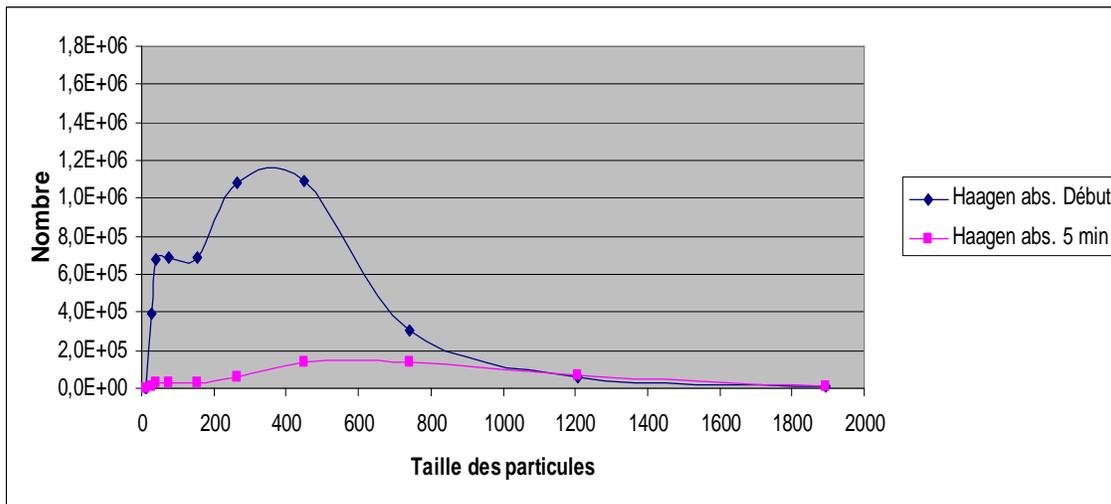
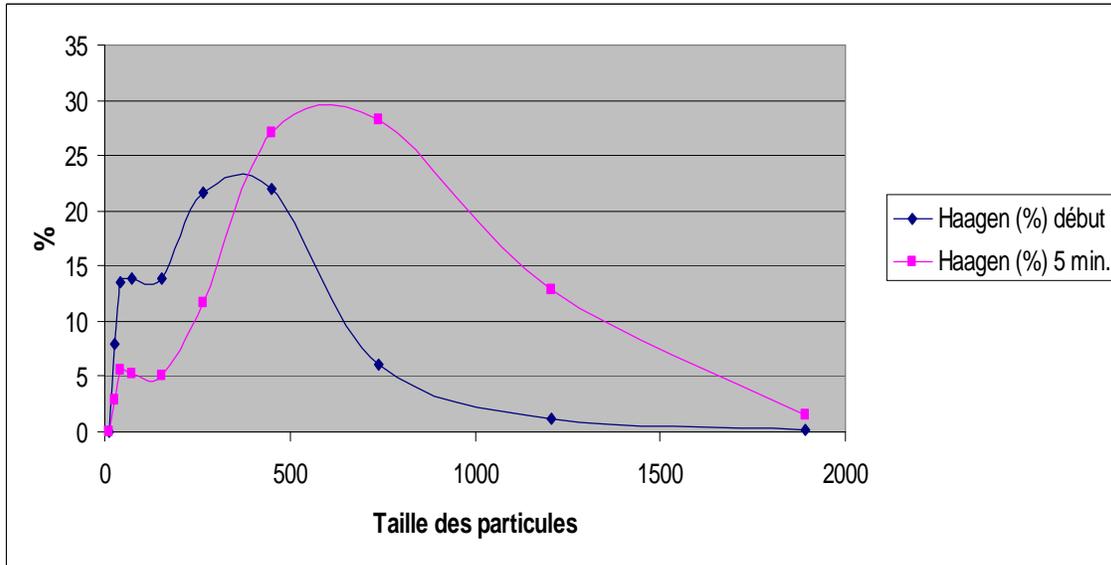
\*Production de fumée en utilisant le liquide fumigène HAAGEN, conformément aux spécifications des générateurs de fumée pour utilisation en discothèque.

### **6.2 Mesures faites avec un générateur de fumée ETNA**

Vous trouverez ci-après quelques graphiques avec des valeurs de mesure de fumée d'un générateur de fumée ETNA en utilisant le liquide fumigène HAAGEN « high-density ». Il s'agit de la répartition des particules en fonction de leur taille, tout de suite après la production et 5 minutes plus tard. On observe non seulement une diminution du nombre de particules, mais aussi une augmentation de leur taille moyenne. A titre comparaison, la répartition des particules en fonction de leur taille est aussi montrée en utilisant un liquide fumigène (« normal ou régulier ») vendu en commerce. Enfin, un graphique montre la diminution du nombre de particules en fonction du temps, aussi bien pour le liquide fumigène HAAGEN que pour un

liquide fumigène « normale ». Les mesures ont été effectuées dans une pièce d'environ 100 m<sup>3</sup>, avec une concentration de fumée faible et une ventilation insignifiante.

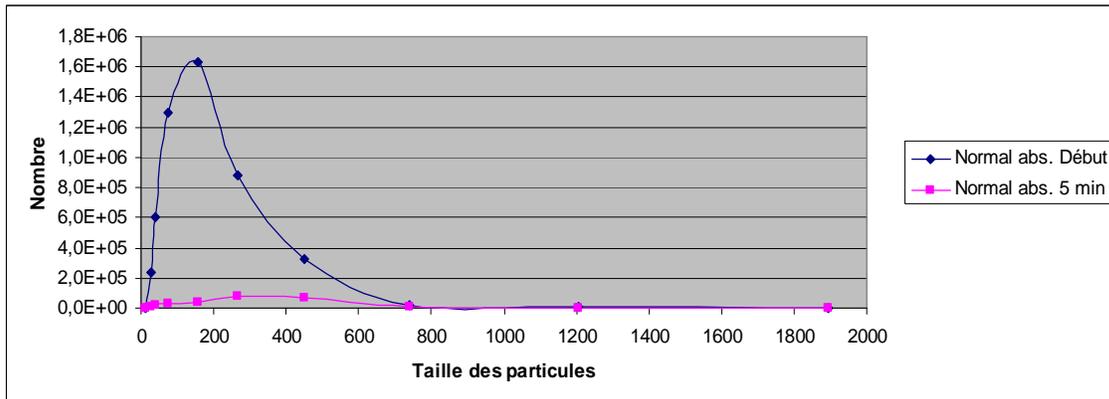
**A. Répartition des particules par taille (nm) avec un générateur de fumée ETNA par une température nominale en utilisant le liquide fumigène HAAGEN (graphique 1 : en pourcentage et graphique 2 : nombre absolu par cm<sup>3</sup>).**



Le diamètre moyen des particules immédiatement après la production de fumée est d'environ 500 nm (0,5 µm). Après 5 minutes, à cause de l'évaporation et l'agglomération, le diamètre moyen est de 900 nm, donc 1,8 x plus grand. Le volume d'une goutte d'un diamètre de 1,8 plus grand est de puissance 3, donc 5,83 x plus grand (ex. volume sphère =  $\frac{4}{3} \pi r^3$ ). Ceci explique en grande partie la diminution du nombre des particules. Aussi, une grande partie de la fumée sera dispersée par le vent ou retombera.

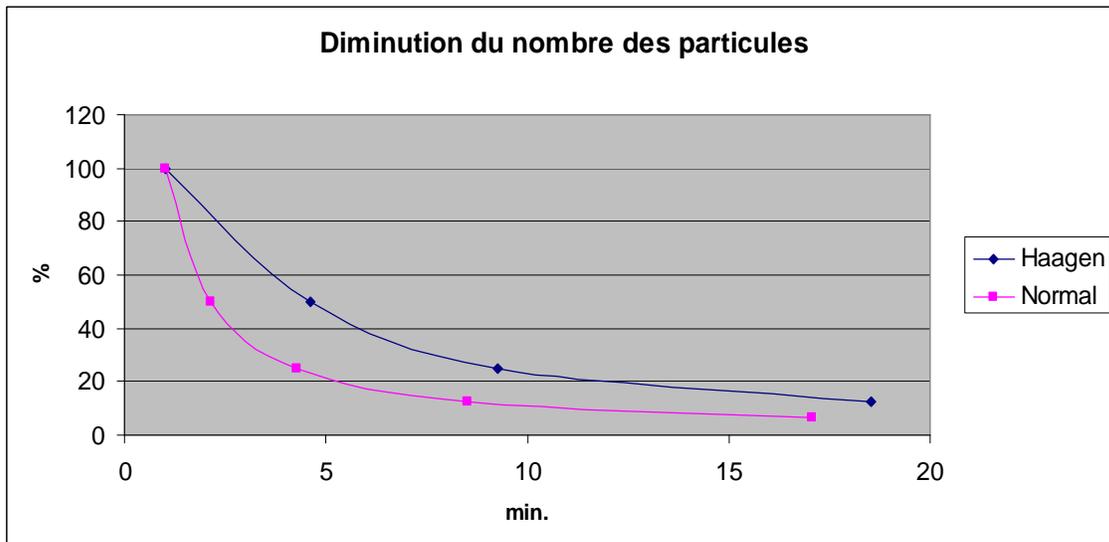
Les petites particules surtout (jusqu'à env. 200 nm) s'agglomèrent avec d'autres particules. Après environ 5 minutes elles ont presque toutes disparues. Les plus grandes particules (> 1000 nm = 1 µm) retombent. Surtout au début, quand beaucoup de petites particules mobiles sont encore présentes dans la pièce, cet effet est très remarquable. Après environ 5 minutes la situation change : lentement la fumée devient de moins en moins épaisse à cause de la retombée des particules.

**B. Répartition des particules par taille (nm) avec un générateur de fumée ETNA par une température nominale en utilisant un liquide fumigène normale (autre que HAAGEN) en nombre absolu par cm<sup>3</sup>.**



Un liquide fumigène avec une concentration moins élevée de substances actives (« normal ») donne plus de petites particules. Ces particules se dissipent rapidement. Le nombre total de particules est moins élevé.

**C. Il est possible de mesurer le comportement de différents liquides fumigènes en fonction du temps.**



Ces mesures donnent un graphique du comportement de retombée :

Il est possible de déterminer la « période de demi-valeur », qui donne une idée du temps nécessaire pour diminuer le nombre de particules de moitié. Le graphique montre clairement que la fumée produite avec un liquide fumigène « normal » disparaît plus vite que celle issue du liquide fumigène HAAGEN.

Le graphique montre une situation avec une concentration pas trop élevée de fumée « stagnante », donc dans une pièce sans ventilation et un certain temps après la génération de fumée. Ce n'est qu'une approche théorique. En pratique, il y a toujours une ventilation forcée ou naturelle et un déplacement d'air grâce à la production de fumée du générateur. Aussi, pendant un exercice, la concentration de fumée est souvent si élevée que l'agglomération et la retombée des particules se font plus rapidement.

L'évaporation a lieu jusqu'au moment où la pression de saturation (pression de vapeur maximum) est atteinte. Dans un espace clos très peu d'évaporation a lieu, puisque la pression de vapeur du liquide fumigène (aérosol) n'est pas élevée. Bien entendu, quand la pièce est ventilée, l'évaporation peut avoir lieu.

Le nombre total de particules n'est par définition pas proportionnel à la perméabilité à la lumière.

## 7. Système d'enfumage

Au cas où vous voudriez de la fumée dans un endroit autre que celui où est placé le générateur de fumée, ou répartir la fumée dans une pièce, il est possible d'utiliser un système de tuyaux ou de conduits. Pour les distances courtes, jusqu'à 5 à 6 m, la fumée peut être transportée. La sortie de fumée du générateur doit être un peu éloignée de l'entrée du tuyau, puisque la fumée se forme quand les aérosols sont mélangés avec de l'air. Si la quantité d'air est insuffisante, la production de fumée diminuera fortement et les retombées dans le tuyau ou conduit seront importantes. Un jeu d'acheminement de fumée, avec une pièce de raccordement à visser sur la machine, est disponible pour les générateurs de fumée HAAGEN, ETNA et VESUVIUS.

Quand la distance entre le générateur de fumée et la pièce à enfumer est plus grande, il est souhaitable de créer plusieurs sorties de fumée ou, en cas d'une installation fixe, prévoir une ventilation. Pour cela, il faut respecter certaines règles :

- Utilisez des tuyaux lisses d'un diamètre suffisant (75 – 200 mm) dépendant de la puissance du générateur de fumée et de la longueur du système de tuyaux.
- Évitez les coudes, et plus généralement les changements de direction et veillez à laisser la sortie ouverte pour éviter le retour de la fumée.
- Dans un système de tuyaux, il y a toujours des retombées. Installez une purge au point le plus bas et recueillez les résidus. Attention : **ne** les réutilisez **pas** dans le générateur de fumée !
- Veillez à laisser les aérosols sortant du générateur de fumée se mélanger avec l'air pour se transformer en fumée !
- Le ventilateur peut être monté en divers endroits. Un ventilateur laissant passer de la fumée doit y être adapté et être assez puissant. Les ventilateurs centrifuges avec un moteur placé en dehors de la roue suffisent en général.

## 8. Les questions les plus souvent posées au sujet de l'utilisation de fumée d'entraînement et les masques respiratoires

### 8.1 La fumée d'entraînement nuit-elle à la santé ?

Si vous vous en servez avec modération et en vous protégeant, la fumée d'entraînement ne nuit pas à la santé.

### 8.2 Quelles mesures de sécurité faut-il prendre pour travailler en toute sécurité avec de la fumée d'entraînement ?

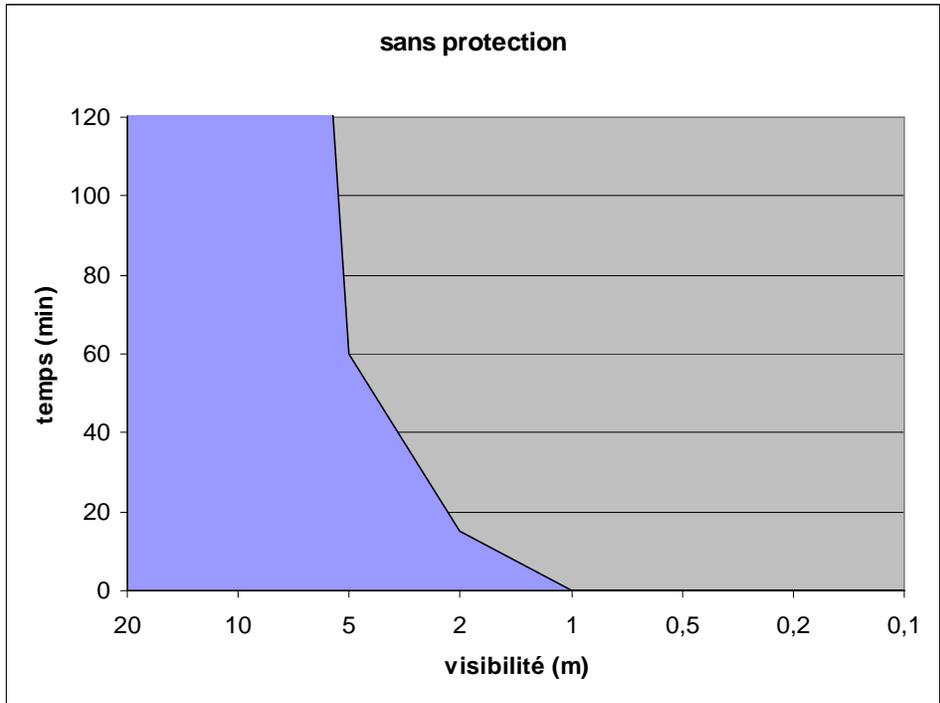
Pour travailler en toute sécurité, les facteurs suivants sont importants :

- Quelle quantité de fumée sera utilisée (quelle visibilité / concentration) ?
- Combien de temps resterez vous dans la pièce remplie de fumée ?
- Combien de fois par jour entrerez vous dans cette pièce ?

Si vous avez les réponses à ces questions, il est possible de déterminer au moyen des graphiques suivants si vous avez besoin d'une protection respiratoire et si oui, de laquelle.

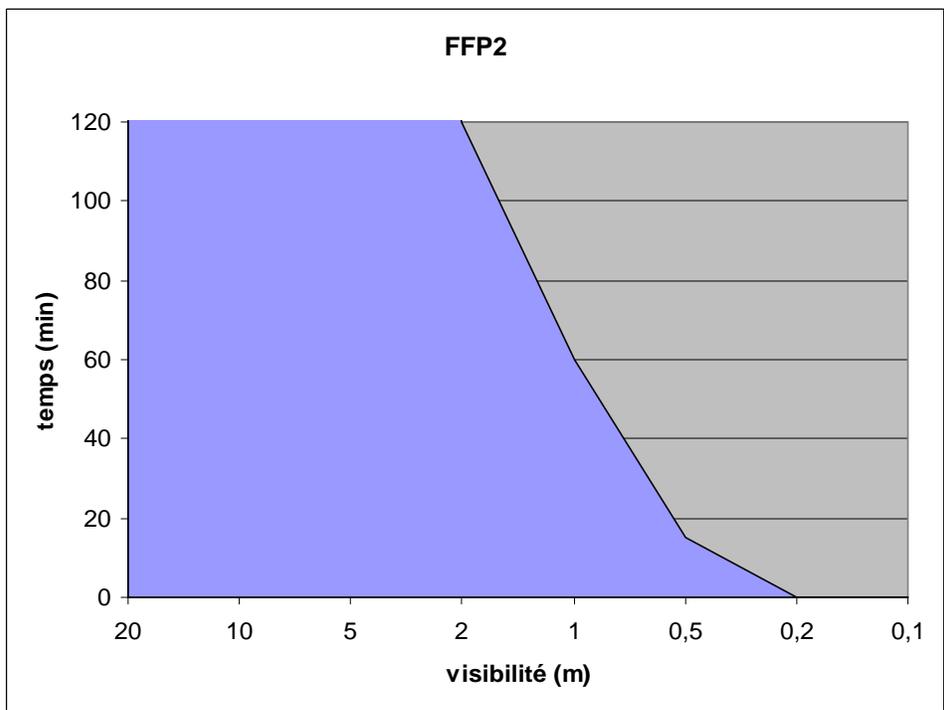
Les valeurs indiquées dans ces graphiques sont basées sur la fumée d'un générateur ETNA ou VESUVIUS en combinaison avec le liquide fumigène HAAGEN. Les valeurs sont tirées de la littérature disponible actuellement. Nous ne pouvons pas garantir les mêmes données avec un autre générateur de fumée et/ou un autre liquide fumigène.

**Graphique 1. Entrer dans une pièce remplie de fumée d'entraînement sans protection :**



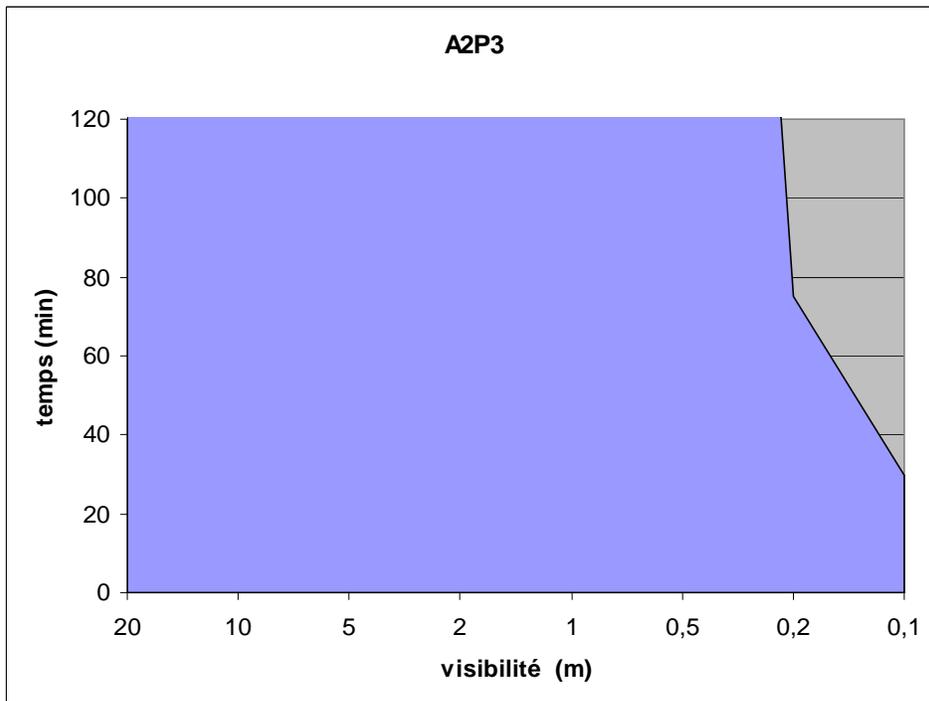
A l'intérieur de la zone foncée, il n'y a aucun risque sans protection respiratoire.  
(Temps = durée totale par jour)

**Graphique 2. Entrer dans une pièce remplie de fumée d'entraînement avec un masque filtrant FFP2 :**



A l'intérieur de la zone foncée, il n'y a aucun risque avec le masque filtrant FFP2.  
(Temps = durée totale par jour)

**Graphique 3. Entrer dans une pièce remplie de fumée d'entraînement avec un masque filtrant A2P3 :**



A l'intérieur de la zone foncée, il n'y a aucun risque avec le masque filtrant A2P3.  
(Temps = durée totale par jour)

**Hypersensibilité :**

En cas d'hypersensibilité aux substances concernées (glycols), il est conseillé de ne pas exposer la personne concernée à ces substances sans protection, mais de lui imposer le port d'un masque filtrant FFP2, au minimum. Des réactions allergiques ne peuvent jamais être complètement exclues.

En cas d'utilisation excessive de fumée d'entraînement le taux d'oxygène de la pièce baissera.

**Filtres :**

**Filtre FFP2 :** Il existe beaucoup de sortes et tailles de filtres FFP2. Le masque filtrant FFP2 est le modèle le plus simple. Il offre une protection suffisante (voir graphique 2) pour une utilisation de durée limitée. Par contre, ces masques ne peuvent pas être nettoyés et ne peuvent donc être utilisés qu'une fois.

**Filtre A2P3 :** La grande différence avec les filtres FFP2 est qu'ils contiennent un filtre à charbon actif filtrant les vapeurs.

Les masques A2P3 sont parfaitement réutilisables, grâce à leurs conduits de filtration remplaçables. Le prix d'achat est donc plus élevé, mais le masque est réutilisable. Il faut le nettoyer après utilisation et remplacer les filtres régulièrement. Il est nécessaire de le changer quand il laisse passer moins d'air, ce qui rend la respiration plus difficile. Pour prolonger la durée de vie des filtres, il est conseillé de les emballer hermétiquement après utilisation.

**8.3 Comment éviter des retombées grasses ?**

Une retombée de fumée d'entraînement peut avoir différentes causes :

- Pas assez de ventilation dans la pièce, ce qui provoque une retombée de la fumée d'entraînement.
- Une concentration de fumée trop importante dans la pièce. Les particules d'aérosol s'aggloméreront plus rapidement, deviendront plus lourds et retomberont.

Il faut donc limiter la quantité de fumée le plus possible et ventiler la pièce tout de suite après l'exercice pour éviter une retombée inutile de la fumée.

#### 8.4 L'utilisation d'autres sortes de liquide fumigène

La combinaison du générateur de fumée et du liquide fumigène est très importante pour produire une fumée d'entraînement d'une bonne qualité. Si vous utilisez un autre liquide fumigène, cela aura des conséquences sur la qualité de la fumée.

Il est important que le liquide fumigène soit pur. Quand un liquide fumigène contient des minéraux, ils resteront dans l'échangeur thermique en le bouchant.

#### Notions

##### Valeur Limite d'Exposition Professionnelle (VLEP)

La concentration maximale tolérée d'un gaz, vapeur, brume ou d'une substance est celle qui se trouve dans l'air sur le lieu de travail et qui, selon les connaissances actuelles, en cas d'exposition durant 8 heures par jour, 40 heures par semaine, et aussi durant une période comprenant toute une vie de travail, n'a pas de conséquences nocives sur l'employée et ses descendants.

Il existe deux catégories de VLEP :

- VME : la Valeur limite de Moyenne d'Exposition à ne pas dépasser pendant 8 heures. Le plus souvent il s'agit d'une moyenne durant une journée de travail de 8 heures. Pendant cette période, les concentrations peuvent fluctuer, sans toutefois dépasser la VLCT.
- VLCT : la Valeur Limite d'exposition à Court Terme mesurée sur une période de 15 min. La concentration ne devra pas dépasser cette valeur. Puisqu'il est difficile de mesurer la concentration pendant une période très courte, la moyenne est généralement calculée sur une période de 15 minutes.

Les concentrations d'une substance, vapeur, brume ou aérosol sont indiquées en mg/m<sup>3</sup>.

##### Tension ou pression de vapeur

La pression de vapeur correspond à la force exercée sur 1 m<sup>2</sup> par les molécules de vapeur dans l'air. L'unité de mesure est le Pascal (Pa). (La pression atmosphérique aussi est exprimée en Pascal ou, pour éviter les grands nombres, en hectoPascal (hPa); un hPa est équivalent à 100 Pa. Un hectoPascal est égal à 1 millibar (mb), l'unité de mesure utilisée autrefois en météorologie). La pression de vapeur est beaucoup moins élevée que la pression atmosphérique et son maximum, la tension de vapeur de saturation, dépend de la température. Si cette tension de vapeur de saturation est dépassée, la vapeur en excès se condense et devient visible sous forme de gouttes.

Un liquide avec une pression de vapeur élevée, donc plus volatile, a forcément une concentration de vapeur plus élevée.

La **densité de vapeur** est une mesure de poids de vapeur. **Quand on la compare à l'air, on l'appelle la densité de vapeur relative.**

#### Références

- [MSDS] Datablader en MSDS toegepaste stoffen, Chemiehandboek, Leveranciers  
Fiche de données de sécurité - Liquide fumigène HAAGEN (16-06-2005)
- [Cohen] 'Recommended exposure guidelines for glycol fogging agents' de The Cohen Group  
project. No. 6070-1001 (14 février 1997)
- [TuDelft] Onderzoek naar de gezondheidsaspecten van de rook uit een door de firma Haagen  
Rookgeneratoren B.V. geleverde rookgenerator bij verschillende toepassingen, Ir. P.G.J.  
van der Wel, Scheikundige Technologie en Materiaalkunde, Groep deeltjestechnologie en  
aërosoltechnologie, TU Delft. (28-10-1992)
- [Internet] [www.wow-halloween-costumes.com/html/fog\\_machine.html](http://www.wow-halloween-costumes.com/html/fog_machine.html)  
[www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)
- [TNO] Haagen Rookgenerator, C. van Gulijk, Researchgroep Fysieke Bescherming, TNO Prins  
Maurits Laboratorium. (23-07-2004)
- [Patty's] Patty's Industrial Hygiene & Toxicology. (Wiley)