Plan d'urgence hospitalier (PUH)

Partie 6 - Guide explosions

Table des matières

1 Explosions 1
1.1 Généralités 1
1.1.1 Explosion de substances chimiques inflammables 1
1.1.1.1 Formes d'explosion chimique 2
1.1.1.2 Risque d'explosion de gaz (= explosion chimique) 2
1.1.1.3 Risque d'explosion de vapeur (= explosion chimique) 2
1.1.1.4 Risque d'explosion de poussière (= explosion chimique) 2
1.1.1.5 LIE et LSE 2
1.1.1.6 Triangle du feu 4
1.1.1.7 Vitesse d'évaporation 4
1.1.1.8 Température d'auto-ignition (autoignation temperature) et point d'éclair (flash point) 5
1.1.2 Effets sur l'environnement 6
1.1.3 Effets sur la santé 8
1.1.3.1 Lésions primaires par explosion 8
1.1.3.2 Lésions secondaires par explosion 8
1.1.3.3 Lésions tertiaires par explosion 8
1.1.3.4 Lésions quaternaires par explosion 9
1.1.4 Sécurité personnelle 9
1.1.5 Triage 10
1.1.5.1 Triage sur le lieu de l'attentat 11
1.1.5.2 Triage à l'hôpital 11
1.1.6 Prise en charge médicale 11
1.1.6.1 Sur le lieu de l'incident 12
1.1.6.2 À l'hôpital 12
1.1.6.2.1 'Damage control surgery' 12
1.1.6.2.2 Vaccinations 12
1.1.6.2.3 Prise en charge spécifique à chaque organe 12
1.1.6.3 Soins de suivi 15
1.1.7 Addendum 15
1.1.7.1 Concentration de gaz et conversion en ppm, LIE et %VOL 15

1 Explosions

1.1 Généralités

Une explosion est une combustion rapide avec effet de pression. La combustion rapide génère une grande quantité de gaz (de combustion) qui, du fait de la vitesse de propagation et de la survenue en milieu bien souvent confiné, créent une onde de pression et un front de flamme.

Une explosion s'accompagne donc d'une augmentation soudaine du volume du matériau, de la libération rapide d'énergie, de l'apparition de températures élevées et de la libération de gaz.

Les explosions peuvent être accidentelles ou intentionnelles (terrorisme). Une explosion est dite «contaminée» jusqu'à preuve du contraire. Toutes les recommandations s'appliquant à un incident CBRN doivent donc être respectées, y compris pour ce qui est des équipements de protection individuelle.

On distingue trois types d'explosions:

1. Explosion physique: par exemple, bouteille de gaz, réservoir, etc.
2. Explosion chimique: par exemple, explosion de gaz, de vapeur et de poussière.
3. Explosion nucléaire.

Ci-après, nous nous limiterons aux explosions de substances chimiques inflammables (les plus fréquentes dans les sphères personnelle et professionnelle) et aux explosions volontaires. Quelques principes de base importants en termes de sécurité seront examinés.

Les médecins et les hôpitaux doivent être prêts, logistiquement, médico-organisationnellement et techniquement parlant, à prendre en charge les victimes d'une explosion. Cette prise en charge requiert des connaissances de base sur les effets physiques d'une explosion, sur les mécanismes d'apparition des lésions par explosion et sur les problèmes susceptibles de se poser lors du triage et du traitement des victimes.

1.1.1 Explosion de substances chimiques inflammables

Tout combustible est susceptible, en présence d'air (oxygène) dans une juste proportion et d'une source d'inflammation, de provoquer une explosion.

Le risque d'explosion est présent dans de nombreux secteurs: industrie du gaz et du pétrole, industrie chimique, traitement des déchets, installations de traitement des eaux usées, génie civil, centrales électriques, industrie du bois, peinture au pistolet, agriculture, sidérurgie, industrie agroalimentaire, industrie des aliments pour animaux, industrie pharmaceutique, raffineries, industrie du recyclage. Cette liste n'est pas exhaustive, il peut également y avoir un risque d'explosion dans des lieux de travail individuels de secteurs non spécifiques.

1.1.1.1 Formes d'explosion chimique

Le risque d'explosion de substances inflammables peut prendre trois formes:

- risque d'explosion de gaz;
- risque d'explosion de vapeur;
- risque d'explosion de poussière.

1.1.1.2 Risque d'explosion de gaz (= explosion chimique)

Lorsque des gaz inflammables sont libérés dans l'atmosphère, ils se mélangent directement à l'air, qui se compose à 21% d'oxygène. Un mélange gazeux ne peut prendre feu que si le gaz inflammable et l'oxygène sont présents dans certaines proportions (voir infra). Ces proportions sont spécifiques à chaque gaz et à chaque vapeur.

1.1.1.3 Risque d'explosion de vapeur (= explosion chimique)

La pulvérisation d'un liquide génère une brume de très petites gouttelettes. Plus ces gouttelettes sont petites, plus la brume est stable et se comporte telle un gaz. Elle est alors susceptible d'exploser comme un gaz: il s'agit d'une explosion de vapeur.

1.1.1.4 Risque d'explosion de poussière (= explosion chimique)

Si un solide inflammable est subdivisé en particules très fines (comme de la poudre), ces particules peuvent s'envoler et se mélanger à un nuage de poussière susceptible d'exploser. Pour qu'une explosion de poussière survienne, il faut qu'un solide inflammable se trouve en suspension sous la forme de fines particules et se mélange intensivement à l'air (ou à un autre gaz composé d'oxygène) avant de s'enflammer. La dénomination «substance à pouvoir calorifique» est souvent utilisée pour indiquer si le solide est inflammable (on pense par exemple au sucre, à la farine et au bois).

Règle d'or: si, lorsque vous étendez le bras, vous ne parvenez plus à voir votre main dans le nuage de poussière, vous êtes au-dessus de la LIE.

1.1.1.5 LIE et LSE

On appelle LIE (limite inférieure d'explosivité) la concentration minimale à laquelle une substance est inflammable ou explosive. En anglais, cette limite est appelée «*Lower Explosion Limit*» (LEL). Les concentrations en dessous de la limite inférieure d'explosivité ne sont en théorie pas explosives: le gaz n'est pas présent en quantités suffisantes pour s'enflammer, le mélange est trop pauvre. Une explosion n'est donc pas possible si le pourcentage de gaz présent dans la pièce est inférieur à ce pourcentage. Lors de mesures, il faut toujours veiller à se trouver **sous les 10% de la limite inférieure d'explosivité** ou LIE (selon le gaz de calibration de l'appareil de mesure. En général, il s'agit de CH_4 car ce gaz est le plus inflammable).

Il existe également une concentration maximale, appelée limite supérieure d'explosivité ou LSE (*Upper Explosion Limit*, *UEL*). Au-delà de 100% de la LSE, un mélange gazeux n'est pas explosif ou inflammable car il n'y a pas suffisamment d'oxygène présent pour que le gaz s'enflamme: le mélange est trop riche. Cette situation est toutefois extrêmement dangereuse. Si l'on ouvre une porte, de l'air pénètrera dans la pièce et fera chuter la concentration de gaz inflammable, qui se situera alors à la LSE. On se trouvera ainsi dans le domaine d'explosivité.

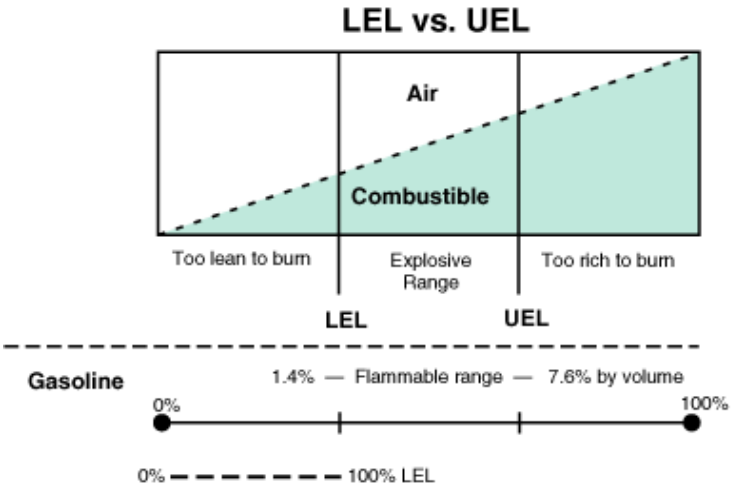

Figure 8 Mélange explosif entre LIE et LSE

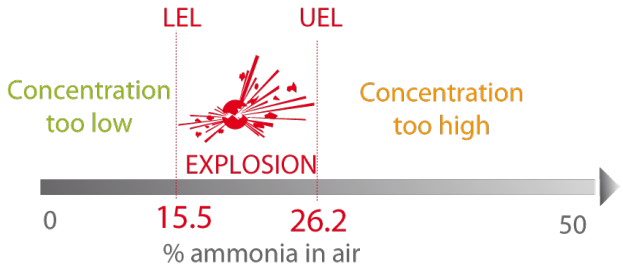

Figure 9 LIE et LSE de l'ammoniac

La zone d'inflammabilité de chaque gaz ou mélange gazeux se situe entre la LIE et la LSE.

Les gaz inflammables représentent un danger d'autant plus grand que la concentration à laquelle se situe la LIE est basse.

Gaz inflammable			
	LIE %Vol	LSE %Vol	Zone d'inflammabilité
Gaz naturel	5,0%	16,0%	5,0 à 16,0%
Acétone	2,3%	13,0%	2,3 à 13,0%
Propane	1,7%	9,5%	1,7 à 9,5%
Ammoniac	15%	30%	15 à 30%
Styrène	0,9%	6,8%	0,9 à 6,8%
Essence	0,6%	8,0%	0,6 à 8,0%
Butane	1,3%	8,5%	1,3 à 8,5%
Hydrogène	4,0%	76%	4,0 à 76%
LPG	1,5%	10,0%	1,5 à 10,0%
Hydrogène sulfuré	4,0%	46%	4,0 à 46%
Méthane	4,4%	16,0%	4,4 à 16,0%

Le gaz naturel est explosif lorsque la concentration se situe entre 5,0 et 16,0%. Au-delà de 16,0%, il n'y a pas suffisamment d'oxygène pour qu'il s'enflamme. Cependant, si le mélange est dilué avec de l'air/de l'oxygène, il devient directement inflammable!

Pour la concentration de gaz et la conversion en ppm, LIE et %Vol, voir addendum 1.

1.1.1.6 *Triangle du feu*

Figure 10 Le triangle du feu

Pour qu'un gaz inflammable prenne feu, trois conditions doivent être réunies (voir triangle du feu):

1. Il doit y avoir suffisamment de combustible. Si la concentration de gaz dépasse la valeur minimale des 100% de la LIE, cette condition est remplie. Pour le méthane, il s'agit d'une concentration supérieure à 4,4 %Vol.
2. Il doit y avoir suffisamment d'oxygène. La combustion est l'oxydation d'un combustible, ce qui nécessite de l'oxygène. Sans oxygène, il n'y a pas de combustion. Dans un milieu inerte, il ne peut pas y avoir d'explosion, alors que la concentration de gaz peut largement dépasser la LIE.
3. Il faut une source d'inflammation. Elle est nécessaire pour démarrer la réaction d'oxydation. Dans la pratique, il peut s'agir de petites quantités d'énergie pouvant avoir des conséquences considérables (flamme, étincelle, surface chaude, compression adiabatique). Les sources potentielles d'inflammation sont des appareils électriques non certifiés comme l'éclairage, les interrupteurs et les tableaux de commande. Cependant, **les téléphones mobiles (!!)/émetteurs Astrid**, les multimètres et même des clés qui tombent peuvent être une source d'inflammation.

1.1.1.7 *Vitesse d'évaporation*

En fonction de la pression de vapeur, un liquide inflammable s'évaporera dans une mesure plus ou moins grande et formera donc un mélange explosif avec l'air. La vitesse à laquelle la vapeur se forme et la concentration au-dessus de la surface du liquide augmentent à mesure que la température du liquide monte. Dès que le liquide atteint une température supérieure à son point d'éclair, cette concentration dépasse la LIE et le mélange devient inflammable.

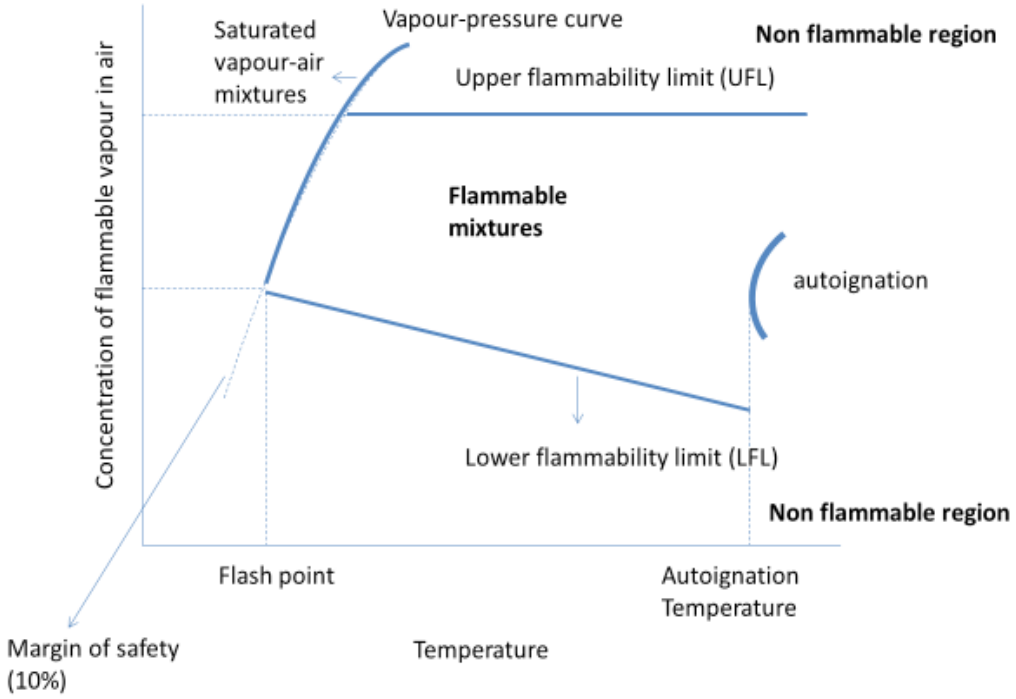

Figure 11 Relation entre concentration de vapeur et température

1.1.1.8 *Température d'auto-ignition (autoignation temperature) et point d'éclair (flash point)*

Les gaz inflammables s'enflamment spontanément à une certaine température, sans qu'une source externe d'inflammation ne soit présente. On confond souvent température d'auto-ignition et point d'éclair. Le point d'éclair d'un liquide inflammable est la température la plus basse à laquelle la surface du liquide dégage suffisamment de vapeur pour s'enflammer en présence d'une petite flamme. Un liquide s'évaporera dans une mesure plus ou moins grande en fonction de la pression de vapeur. La vitesse à laquelle la vapeur se forme et la concentration au-dessus de la surface du liquide augmentent à mesure que la température du liquide monte.

Température d'auto-ignition et point d'éclair		
Gaz ou vapeur	Point d'éclair	Température d'auto-ignition
Méthane	< -20 °C	595 °C
Kérosène	38 °C	210 °C
Hydrocarbure	270 °C	310 °C

Au point d'éclair, il y a suffisamment de vapeur de liquide, si bien que la LIE est atteinte. Si la température ambiante est inférieure à la température du point d'éclair, il n'y a pas suffisamment de vapeur pour une explosion/situation dangereuse.

Les vapeurs inflammables sont d'autant plus dangereuses que le point d'éclair est bas.

Danger d'explosion		
	Température	Danger d'explosion
Point d'éclair	< -18 °C	Très dangereux
Point d'éclair	> -18 °C et < 23 °C	Dangereux
Point d'éclair	> 61 °C	Pratiquement pas dangereux

Densité de vapeur

Une densité de l'air de 1,0 sert de référence pour la densité d'un gaz ou de la vapeur. Les gaz dont la densité de vapeur est inférieure à 1,0 monteront, ceux dont la densité de vapeur est supérieure à 1,0 descendront.

Densité de vapeur	
Gaz ou vapeur	Densité de vapeur
Méthane	0,55
Monoxyde de carbone	0,97
Hydrogène sulfuré	1,19
Vapeur de pétrole	environ 3,0

Attentat à la bombe

La menace d'attentats terroristes est réelle. On s'attend donc à ce que le risque d'attentats de ce genre augmente plutôt qu'il ne diminue. La plupart des attentats terroristes sont commis au moyen d'explosifs (et/ou de balles). Leur caractère ciblé fait que les victimes sont généralement nombreuses. L'impact psychologique sur les victimes et sur leur entourage, sur les personnes concernées et sur la société dans son ensemble est grand. Un attentat avec des engins explosifs peut également viser des installations critiques où sont présentes des substances dangereuses, radiologiques ou chimiques. Les mesures qui s'appliquent en cas d'explosion au gaz et d'explosion de solides valent également dans ce contexte. On se concentrera plus spécifiquement sur certains points plus loin dans le texte.

1.1.2 Effets sur l'environnement

Une explosion génère en quelques millisecondes une onde très puissante dont les deux composantes sont l'onde de pression et le souffle. L'onde de pression se propage dans toutes les directions depuis le lieu de l'explosion. Plus l'explosion est puissante, plus l'onde de pression est importante et sa portée grande. La puissance de l'explosion détermine notamment les dommages occasionnés et la distance jusqu'à laquelle ces dommages surviennent. L'explosion génère du feu et de la chaleur, qui peuvent ensuite engendrer un incendie à proximité ou plus loin.

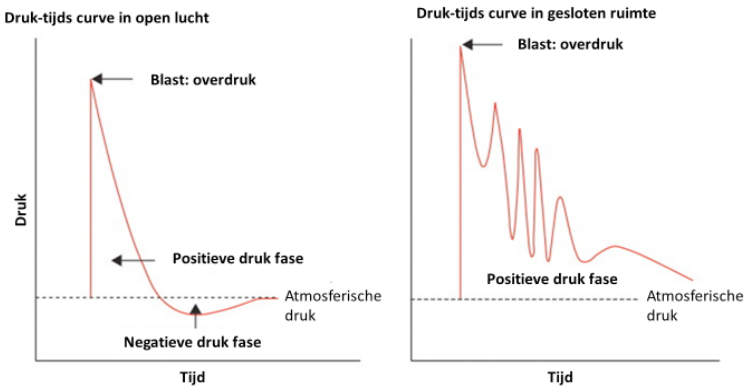

Figure 12 Onde de pression

L'environnement dans lequel survient une explosion détermine en partie l'ampleur des dégâts. Les ondes de pression en plein air sont relativement simples. À l'air libre, l'onde de pression peut se propager davantage parce qu'elle rencontre moins d'obstacles. En milieu ouvert, elle s'étend sous la forme d'une sphère dont la surface est proportionnelle au carré du rayon (la distance jusqu'au centre de l'explosion). L'énergie de l'onde de pression se propageant sur cette surface, l'onde de pression décroît proportionnellement au carré de la distance jusqu'à l'explosion. Dans une ville comptant beaucoup de bâtiments, l'onde de pression se propage moins, mais les dégâts peuvent être considérables. Les ondes de pression parmi des bâtiments sont relativement complexes car elles se répercutent et font l'objet d'interférences. Une explosion sous l'eau se propage beaucoup plus rapidement qu'une explosion dans l'air et occasionne souvent des lésions beaucoup plus graves aux victimes. En milieu fermé, une explosion entraîne une hausse de la pression, si bien que l'onde de pression se propage plus violemment à l'extérieur.

Le tableau ci-dessous donne un aperçu des effets suivant la pression (tableau issu du guide sur les substances dangereuses).

Dégâts	**kPa**
Légers dégâts aux panneaux de verre	0,1- 0,3
Seuil de bris de vitres	1 -1,5
Limite inférieure de dégâts dus à des fragments	1,5 - 2,5
Bris de glace, façades fissurées, légers dégâts aux bâtiments	3,5 - 7,5
Personnes projetées	7 -10
Déformation des fines plaques métalliques	7,5 - 12,5
Volets en bois ou pièces latérales en amiante se détachant des habitations	7,5 - 15
Effondrement des murs en blocs de béton	12,5 - 20
Effondrement des bâtiments autoporteurs	20 - 30
Endommagement des réservoirs d»hydrocarbures	20 - 30
Rupture des poteaux de soutien	30 - 50
Graves dommages aux bâtiments à charpente en acier	30 - 50
Limite inférieure de rupture des tympans	35
Dommages sévères aux constructions en béton armé	40- 60
Retournement des wagons de train	40- 60
Destruction totale des bâtiments en béton non armé	70 - 80

Lésions pulmonaires	200 - 500
Létalité	700-1500

Tableau 14 Effets de pression

1.1.3 Effets sur la santé

L'étendue et la gravité des lésions sont fonction de la puissance de l'explosion, de la distance qui sépare la victime du point d'explosion, du milieu dans lequel est survenue l'explosion (ouvert ou fermé) et de l'éventuel ajout de fragments de métal à un explosif. Les explosions en milieu fermé (bâtiments, véhicules) avec effondrement de structures avoisinantes s'accompagnent d'une mortalité et d'une morbidité plus élevées.

Le blast est un ensemble de lésions spécifiques faisant suite à un déplacement d'air soudain dû à une explosion. Les explosions peuvent provoquer 4 types de lésions: les lésions primaires liées à l'onde de choc, les lésions secondaires liées à la projection de débris, les lésions tertiaires liées au souffle de l'explosion et enfin les explosions quaternaires liées à la chaleur et au feu.

1.1.3.1 Lésions primaires par explosion

Ces lésions sont induites par l'onde de pression. Elles sont dues à des niveaux sonores élevés de courte durée («bruit impulsionnel») ou à l'onde de choc («blast»). Les effets de l'onde de pression sur le corps diffèrent selon que l'explosion survient à l'air libre ou dans un milieu fermé (voir également ###). La plupart des lésions primaires par explosion surviennent en milieu fermé. Le barotraumatisme affecte essentiellement les organes contenant de l'air ou du gaz.

1. Déchirure des tympans. Jusqu'à 80% des victimes en souffrent.
2. Dommages pulmonaires. Surviennent chez la moitié des victimes ou plus
   - pneumothorax (de tension)
   - rupture des alvéoles pulmonaires, hémorragies et œdème. L'œdème n'apparaît parfois que des heures après l'explosion (radiographie des exsudats en ailes de papillon).
3. Perforations intestinales, avec péritonite en conséquence. Jusqu'à 4% des victimes en souffrent.

Les lésions primaires ne sont pas toujours directement visibles de l'extérieur alors qu'elles peuvent mettre la vie de la victime en danger.

1.1.3.2 Lésions secondaires **par explosion**

En vue de faire un plus grand nombre de victimes, des fragments de métal comme des écrous, des clous et des petites billes de métal sont souvent ajoutés à une bombe lors d'un attentat. En raison de leur grande énergie cinétique, ces fragments peuvent pénétrer profondément dans le corps. La projection de fragments du fait de la destruction de structures (bâtiments, meubles) fait également des dégâts. Ces dégâts peuvent prendre de nombreuses formes, allant des hématomes aux plaies perforantes en passant par le traumatisme contondant.

1.1.3.3 **Lésions tertiaires par explosion**

La victime est projetée au sol ou contre un objet par l'onde de choc. Comme pour les lésions secondaires, on observe ici des traumatismes contondants et des plaies perforantes:

1. le corps entier est projeté et heurte violemment des murs ou des structures, avec pour conséquence des ecchymoses et des fractures complexes;
2. la différence d'accélération provoque l'arrachement de parties des extrémités (amputations traumatiques). Des lésions nerveuses ou vasculaires sont également possibles (étirements excessifs).

1.1.3.4 Lésions quaternaires par explosion

Ces lésions sont induites par la chaleur libérée, la naissance d'un incendie, les intoxications, les traumatismes par inhalation (par exemple, produits toxiques libérés), l'effondrement de bâtiments et l'aggravation d'affections déjà existantes.

1. La combustion rapide consomme une grande quantité de l'oxygène présent dans l'air ambiant. Les victimes peuvent ainsi mourir par suffocation. Une concentration en oxygène inférieure à 18 %Vol, et en particulier à 10 %Vol, entraîne un risque (aigu) de suffocation avec des lésions cérébrales permanentes graves dans les minutes qui suivent et la mort en l'absence d'intervention. La suffocation peut être due à la forte consommation d'oxygène lors de l'explosion. Autre risque: le travail dans un environnement pauvre en oxygène (inertisation) en vue de réduire autant que possible le risque d'incendie et d'explosion. Le danger de suffocation est présent dans de tels environnements, sauf s'il est fait usage d'équipements de protection respiratoire individuelle.
2. Brûlures dues aux flammes et à la chaleur. Les explosions peuvent provoquer des brûlures graves, parfois avec une issue fatale.
3. Évanouissement ou intoxication en raison d'une exposition à des gaz, des vapeurs, des brumes ou des substances toxiques. L'exposition à des substances toxiques peut avoir des effets locaux, aigus, irritants et corrosifs sur les voies respiratoires (bronchiolite), les poumons (œdème), les yeux et la peau et ainsi entraîner entre autres de graves problèmes respiratoires, oculaires et cutanés. Ces effets aigus sont notamment mentionnés sur les fiches chimiques, les fiches produit ou les fiches de données de sécurité (FDS) *((Material) Safety Data Sheets* ou *(M)SDS* en anglais) de chaque substance toxique + produit de combustion après l'explosion. Par ailleurs, des effets systémiques surviennent également à long terme sur différents systèmes d'organes comme le système gastro-intestinal, le système nerveux, les reins, les organes hématopoïétiques (moelle osseuse) et les organes reproducteurs (effets réprotoxiques).

Les lésions importantes après une explosion sont des lésions pulmonaires, des lésions neurologiques, des lésions abdominales, des fractures/lésions osseuses et un crush syndrome. Des lésions telles que des lésions oculaires, des fractures et des lésions intracrâniennes graves peuvent être la conséquence de mécanismes primaires, secondaires ou tertiaires.

1.1.4 Sécurité personnelle

1. Pour limiter le risque d'explosion, il faut éviter la présence simultanée d'un combustible, d'oxygène et d'une source active d'inflammation. Si l'on constate qu'un combustible peut être libéré dans l'air, une explosion ne peut être évitée qu'en éliminant la source d'inflammation ou en prévoyant un niveau de protection adapté pour la source d'inflammation (pour plus d'informations, voir réglementation ATEX – **ATEX** pour *ATmosphères EXplosibles*).
2. Les lésions résultant d'une exposition directe à des explosions dans l'environnement de travail peuvent être évitées en limitant préventivement la présence de personnes dans les zones à haut risque d'explosion ou en détectant en temps utile une atmosphère explosive et en évacuant les personnes de la zone menacée avant qu'une explosion ne survienne.

3. Les mesures de sécurité applicables en cas d'accident CBRN doivent être respectées. Se tenir à distance est la meilleure protection. Les périmètres (réflexes) mis en place par la discipline 1 (D1, pompiers) doivent être scrupuleusement respectés. La D1 est responsable de la sécurité sur le site de l'incident, ainsi que de la détection et de l'évacuation des blessés («search and rescue»). Les substances dangereuses à proximité et la robustesse des immeubles sont à prendre en compte.
4. En cas d'attentat à la bombe avec présence ou non d'un tireur actif, les personnes qui apportent une assistance médicale doivent d'abord se tenir à distance dans un lieu sûr. La D3 définit les périmètres et assure en partie la sécurité (voir tableau 1: indication relative aux périmètres réflexes). Il faut prendre en considération un deuxième explosif et garder à l'esprit que l'auteur (les auteurs) peut (peuvent) se trouver parmi les victimes. Il peut en résulter un retard important au niveau des premiers soins aux victimes. En cas d'hémorragie artérielle importante, une exsanguination est possible en 3 minutes.
5. Il faut également tenir compte du fait que l'hôpital peut être une cible (Lock down).

1.1.5 Triage

Toute explosion est «sale» jusqu'à preuve du contraire: toute explosion (tout explosif) peut être contaminé(e) chimiquement, radiologiquement. Le triage et la prise en charge médicale ne peuvent toutefois pas être retardés pour ces raisons, le risque de contamination des secouristes est faible. Portez des équipements de protection individuelle: gants, masque avec filtre ABEL (voir Figure) (attention, ne protège pas en cas d'incident radiologique).

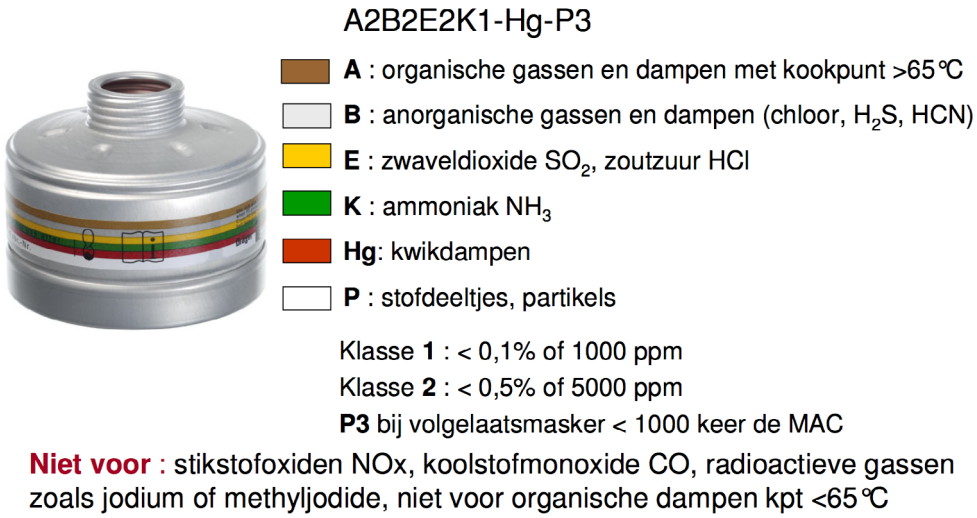

Figure 13 Filtre ABEK

Le triage entre les 3 catégories suivantes de victimes est particulièrement important:

1. victimes fortement susceptibles de présenter des problèmes complexes et nécessitant de ce fait une prise en charge «agressive» dans un centre spécialement équipé;
2. victimes pour lesquelles la prise en charge au service des urgences suffit;
3. victimes pouvant être prises en charge en ambulatoire dans le centre d'accueil.

Ce triage est effectué à deux endroits: d'abord sur le lieu de l'attentat et ensuite au service des urgences de l'hôpital.

Le triage est à refaire régulièrement! C'est une nécessité non seulement parce que des anomalies peuvent ne pas avoir été détectées, mais également parce que certains symptômes ne se manifestent qu'après un certain temps de latence. C'est le cas, par exemple, des affections pulmonaires («blast injury») ou des problèmes intra-abdominaux (saignement du péritoine).

Si la capacité ambulancière est suffisante, l'accès rapide et les hôpitaux et les autres services de secours bien préparés, on peut opter pour l'approche «*scoop and run*» (littéralement, «ramasser et filer»). Selon cette approche, on accorde moins d'attention au triage sur place et on transporte aussi rapidement que possible toutes les victimes dans un centre d'évacuation médicale avec capacité de stabilisation (de préférence un hôpital disposant d'un service d'urgences agréé) où l'on pourra mieux évaluer leur état et où l'on pourra éventuellement les stabiliser, les conditionner en vue de leur transport vers un centre de trauma plus éloigné ou les traiter.

1.1.5.1 Triage sur le lieu de l'attentat

Sur le lieu de l'attentat, il faut d'abord avoir une vue d'ensemble des victimes pour lesquelles une intervention sur place est vitale. Dans pareille situation, il s'agit surtout de patients présentant:

1. un encombrement des voies respiratoires,
2. des hémorragies sévères,
3. un pneumothorax de tension.

Les dommages aux tympans ne peuvent pas être un critère de triage. Ces dommages ne sont ni caractéristiques, ni révélateurs d'autres lésions: des victimes aux tympans intacts peuvent souffrir de lésions abdominales.

1.1.5.2 Triage à l'hôpital

Le triage à l'hôpital sera de préférence effectué par un médecin expérimenté qui évaluera si les victimes requièrent des soins médicaux immédiats ou si un diagnostic plus précis et un traitement peuvent attendre afin d'utiliser en premier lieu la capacité médicale disponible pour les blessés graves.

Font partie de l'examen standard: l'anamnèse, l'examen corporel, (si nécessaire) une échographie abdominale et une analyse générale de laboratoire. Le radiologue joue un rôle essentiel dans l'équipe qui assure la première prise en charge car ses informations peuvent objectiver la gravité de l'état de la victime. Outre la radiologie standard, des CT scans, une échographie et éventuellement une artériographie sont souvent nécessaires en cas de signes cliniques de lésions vasculaires.

1.1.6 Prise en charge médicale

Du fait de la combinaison d'un barotraumatisme avec des plaies contondantes et pénétrantes, la problématique médicale est pluridisciplinaire et requiert l'intervention de plusieurs disciplines auprès d'un même patient. Une évaluation répétée du patient est cruciale (voir triage).

La moitié des victimes cherchera une aide médicale durant la première heure suivant l'incident. Les victimes les plus gravement blessées arriveront après les victimes les moins blessées, ces dernières essaieront bien souvent de se rendre dans les hôpitaux avoisinants par leurs propres moyens (évacuation sauvage).

1.1.6.1 Sur le lieu de l'incident

La qualité de la prise en charge préhospitalière déterminera dans une large mesure la morbidité et la mortalité in fine des victimes.

Les points suivants requièrent une attention accrue lors de la prise en charge médicale:

1. Contrôle sanguin agressif avec utilisation dans les plus brefs délais de tourniquets et de gaz hémostatiques pour stopper l'hémorragie là où un tourniquet ne peut pas être placé.
2. Prise en charge agressive des voies respiratoires. Sécurisation des voies respiratoires avec intubation endotrachéale chez les patients dont les voies respiratoires sont menacées, mais qui ne présentent pas un traumatisme maxillo-facial ou cervical.
3. Réponse opérationnelle intégrée des services de secours sur le terrain. Collaboration (et entraînement) avec les services de police et les pompiers.
4. La voie d'accès intraveineuse n'est pas une routine en phase aiguë. Un accès intra-osseux est une alternative lorsqu'un accès IV n'est pas possible.
5. Morphine comme antidouleur, kétamine comme anesthésique.

1.1.6.2 À l'hôpital

1.1.6.2.1 'Damage control surgery'

La méthode de la «*damage control surgery*» joue également un rôle important lors de la prise en charge d'un grand nombre de victimes d'accident. Cette méthode s'inscrit dans le cadre d'une approche systématique en 3 étapes qui rompt le cercle vicieux critique chez le patient traumatisé et augmente les chances de survie.

1. Lors de la première étape, on réalise les opérations indispensables pour stopper les hémorragies et empêcher la contamination.
2. La deuxième étape consiste en une réanimation aux soins intensifs.
3. La troisième étape consiste en des interventions secondaires.

1.1.6.2.2 Vaccinations

Pour les victimes présentant des lésions cutanées ou des lésions au niveau des muqueuses. Prévoir une vaccination anti-tétanos et une immunisation contre l'hépatite B (dans les 7 jours).

1.1.6.2.3 Prise en charge spécifique à chaque organe

Lésions pulmonaires (blast pulmonaire)

Les lésions pulmonaires vont de la pétéchie à l'hémorragie étendue. Les lésions alvéolaires peuvent entraîner une accumulation de liquide dans les poumons (œdème pulmonaire non cardiaque). Le blast pulmonaire se manifeste le plus souvent au moment de sa survenue, mais aussi plus tard (jusqu'à 48 heures) après l'accident. Il est plus fréquent chez les patients présentant un traumatisme crânien, des brûlures étendues (>10%) et un traumatisme thoracique pénétrant ou des plaies à la tête.

Symptômes: dyspnée, toux, hémoptysie et douleur thoracique.

Signes cliniques: tachypnée, hypoxie, cyanose, apnée, sifflements, bruits de respiration diminués et instabilité hémodynamique (allant jusqu'au choc). L'évaluation de l'oxygénation du sang et une radiographie du thorax (aspect typique en ailes de papillon) (éventuellement complétées d'un examen CT) sont indispensables au diagnostic.

Traitement: oxygène à haut débit, a fortiori si une embolie pulmonaire est suspectée. Décubitus (semi-)latéral gauche (si possible). Intubation immédiate et respiration artificielle si les voies respiratoires sont compromises. En ce qui concerne la respiration artificielle, plusieurs aspects entrent en jeu: en plus de la contusion pulmonaire, la victime peut avoir subi des dommages pulmonaires à cause du feu et de l'inhalation de substances toxiques. En outre, des fistules bronchopleurales peuvent se former, avec un pneumothorax en conséquence. Si l'on veut créer une surpression en fin d'expiration pour traiter des lésions aiguës du parenchyme pulmonaire, il faut tenir compte des contre-indications liées à d'autres formes de lésions pulmonaires - surtout une fistule bronchopleurale – et d'autres problèmes tels que les lésions crâniennes. Il faut redouter une embolie pulmonaire, un pneumothorax et un hémothorax (drainage si nécessaire!). La réanimation volémique est à considérer. Un remplissage excessif peut entraîner un œdème pulmonaire et une régression de l'état pulmonaire.

Lésions neurologiques

Des lésions cérébrales ouvertes/fermées avec contusions et hémorragies sont possibles, tant du fait de l'explosion qu'en raison d'objets pénétrants. Un examen CT est l'approche diagnostique indiquée. Autre possibilité: élongation du plexus brachial à cause de l'explosion.

Lésions oculaires

Presque 30% des victimes souffrent de lésions aux yeux ou aux structures environnantes après une explosion. Il s'agit surtout de lésions secondaires dues à des projections de débris (principalement du verre).

Les symptômes peuvent être vagues: douleur ou perte de la vue. Des lésions oculaires importantes avec conservation de la vue sont possibles.

Traitement: attendre que les structures environnantes aient dégonflé avant de procéder à l'examen de l'œil, ne pas forcer l'accès à l'œil pour réaliser l'examen. Ne pas exercer de pression sur l'œil et laisser les corps étrangers en place. Protéger l'œil avec un capuchon de protection en plastique ou en métal.

Lésions auditives (blast tympanique)

Les lésions auditives sont fréquentes. Les lésons tympaniques vont de l'hémorragie à la perforation (unilatérale ou bilatérale, partielle ou complète). Les lésions tympaniques sans autres symptômes ou lésions ne sont pas un indicateur de lésions primaires par explosion à un autre endroit du corps. Les lésions de l'oreille interne surviennent en cas d'explosion de grande ampleur.

Symptômes: acouphènes, surdité, vertiges, otorragie ou écoulement de liquide par l'oreille. Par ailleurs, des vertiges sont également possibles si l'organe de l'équilibre est affecté.

Lésions abdominales

Les lésions aux organes abdominaux sont une cause importante de morbidité et de mortalité. Leur incidence et leur manifestation clinique varient fortement en fonction du patient et de l'environnement - les enfants sont plus sensibles (paroi abdominale plus fine, organes proportionnellement plus gros: foie, rate) - et en fonction du type d'explosion. Les explosions dans l'eau comportent un risque beaucoup plus élevé de lésion aux organes abdominaux étant donné que sous l'eau, les ondes de choc (relativement peu compressibles) se propagent plus rapidement avec une perte d'énergie moindre.

Les lésions aux organes abdominaux peuvent survenir de plusieurs façons:

1. Les organes contenant du gaz sont les plus sensibles aux lésions primaires par explosion. L'onde de pression peut provoquer une rupture immédiate ou une hémorragie (allant de la pétéchie à l'hématome du gros intestin), un déchirement du mésentère, une contusion du foie ou de la rate ou encore une rupture des testicules. Les hématomes pariétaux présentent un risque élevé d'ischémie secondaire et de rupture, généralement dans les 3-5 jours suivant le traumatisme (mais même jusqu'à 14 jours après).
2. Les lésions les plus fréquentes sont toutefois la conséquence de débris pénétrants ou d'un traumatisme contondant. Elles sont la plupart du temps associées à des lésions primaires par explosion, une ischémie secondaire et une embolie gazeuse.
3. Lésions abdominales et pariétales par écrasement.

Symptômes: la manifestation clinique est très variable et les lésions ne sont parfois visibles qu'après la survenue de complications. Des lésions aux organes abdominaux sont à suspecter chez toute personne exposée à une explosion et présentant des douleurs abdominales, des nausées/vomissements, des vomissements de sang, des douleurs au rectum, des douleurs aux testicules, une hypovolémie/hémorragie inexpliquée, de la fièvre, un iléus et des signes d'abdomen aigu.

Une grande vigilance s'impose lors du triage et du suivi (examen clinique répété du ventre!), surtout chez les personnes plus âgées. Recherchez de l'air libre dans le ventre, une hémorragie abdominale, des abcès.

Fractures, lésions osseuses

L'explosion peut provoquer, d'une part, des blessures pénétrantes du squelette et des tissus mous et, d'autre part, des fractures multiples, parfois compliquées, par le biais de mécanismes tertiaires comme la projection violente de personnes au sol. Dans pareil cas, on observe souvent une combinaison de lésions vasculaires et nerveuses aux alentours (voir lésions neurologiques).

Lésion primaire par explosion. L'amputation traumatique en tant que lésion primaire par explosion est un indicateur de mortalité. Les amputations induites par une explosion surviennent généralement au niveau des tiges osseuses plutôt qu'au niveau des articulations.

Les lésions secondaires par explosion dues à des fragments pénétrants ou à des structures environnantes entraînent des lésions étendues aux tissus et une contamination de plaie. Même en présence de lésions externes limitées, il faut envisager des lésions étendues et des infections de plaie susceptibles d'être fatales.

Il faut identifier l'ampleur, les structures avoisinantes (structures osseuses, vasculaires et nerveuses) et l'infection de toute plaie ouverte.

Crush syndrome

L'explosion proprement dite, mais aussi des effondrements peuvent déboucher sur une rhabdomyolise induite par une contusion rénale, entraînant un crush syndrome. Une mort tardive peut s'ensuivre.

La libération soudaine d'un membre écrasé peut entraîner un syndrome de reperfusion avec hypovolémie (les patients peuvent séquestrer jusqu'à 12l/48h dans l'organe écrasé, 3°-syndrome compartimental) et troubles du métabolisme. Libération de myoglobine, de créatinine, de calium, de phosphore dans la circulation. La myoglobinurie entraîne une insuffisance rénale si elle n'est pas traitée. Un liquide doit être administré préventivement en intraveineuse avant la libération du membre ou un tourniquet doit être placé. Soyez attentif à la survenue d'un syndrome compartimental.

Femmes enceintes

Toutes les femmes enceintes dans leur 2e ou 3e trimestre doivent passer un monitoring.

1.1.6.3 Soins de suivi

Les soins de suivi visent les victimes directes, les personnes concernées et les intervenants. Une recherche épidémiologique des changements psychiques, émotionnels, cognitifs et comportementaux après une explosion (à la bombe) est essentielle. Une surveillance active des signaux et une identification des besoins sont indispensables.

La collecte des données relatives aux effets médicaux après une explosion permet en outre une analyse a posteriori et un rapportage plus approfondis: l'aide s'est-elle bien déroulée? Le triage a-t-il été effectué correctement? Les résultats de telles études mettent en évidence les adaptations à apporter aux protocoles et les questions qui nécessitent un approfondissement.

1.1.7 Addendum

1.1.7.1 Concentration de gaz et conversion en ppm, LIE et %VOL

On peut exprimer la concentration d'un gaz de différentes manières. Les concentrations plus élevées sont données en pourcentage volumique (%Vol). L'air contient par exemple 20,9 %Vol d'oxygène.

Les concentrations plus faibles sont exprimées en ppm (parts per million). La règle de conversion entre ppm et %Vol est la suivante:

1 %Vol = 10.000 ppm.

Par exemple, une très faible concentration de 0,0002% de méthane (CH_4) est présente dans l'air, ce qui correspond à 2 ppm. Cette conversion s'applique à 20°C et à 1.013 mBar.

La concentration minimale, exprimée en pourcentage volumique (%Vol), à laquelle un gaz devient inflammable, diffère d'un gaz à l'autre. Cette concentration minimale correspond à 100% de la LIE.

Un gaz tel que l'hydrogène sulfuré (H_2S) est explosif, mais la concentration à laquelle il est toxique est beaucoup plus faible. La LIE de H_2S se situe à 4,0%, ce qui équivaut à

40.000 ppm. Une concentration d'H_2S de 1000 ppm entraîne immédiatement une perte de connaissance avec des conséquences fatales.

Cela vaut également pour les mélanges contenant des composants organiques volatiles (COV). La concentration à laquelle les COV sont toxiques est en générale de loin inférieure à celle à laquelle ils sont inflammables. Le détecteur par photoionisation [1]mesure une plage de ppm et apporte une protection supplémentaire pour ces gaz par rapport à la seule mesure LIE.

1 Mesure non sélective + facteurs de correction. Vous ne savez pas quel gaz vous mesurez. Si vous êtes certain qu'un seul COV est présent, vous pouvez utiliser un facteur de correction pour obtenir la bonne concentration.