

# Intoxications cyanhydriques professionnelles des pompiers : mythe ou réalité ?

*Lors des interventions sur les incendies de logements ou de locaux professionnels, les pompiers sont exposés aux fumées pouvant contenir des composés cyanhydriques à des concentrations variables. Une étude du laboratoire mobile du Bataillon des marins-pompiers de Marseille a permis de mettre en évidence la réalité du risque et propose des pistes de prévention.*

## En résumé

Lors de feux de logements ou de locaux professionnels, les pompiers sont exposés au cyanure d'hydrogène et au benzonitrile résultants de la dégradation thermique des polymères des matières plastiques ou de substances naturelles, surtout si les actions de déblaiement sont effectuées sans appareil de protection respiratoire.

Depuis mai 2001, le laboratoire mobile du Bataillon des marins-pompiers de Marseille a effectué des dosages atmosphériques de ces composés cyanhydriques et de monoxyde de carbone sur 82 feux urbains lors des phases de noyage et de déblaiement. Les valeurs médianes sont toutes inférieures aux valeurs limites d'expositions professionnelles. Toutefois dans certaines circonstances (feu de commerce de vêtements par exemple), ces concentrations peuvent dépasser ces valeurs limites.

L'intoxication cyanhydrique aiguë est une urgence nécessitant la disponibilité d'hydroxocobalamine dans le véhicule d'intervention.

Une surveillance médicale adaptée des pompiers susceptibles d'être exposés aux composés cyanhydriques doit être mise en place en recherchant à l'interrogatoire des signes d'intoxication à bas bruit. L'examen clinique doit porter une attention particulière aux fonctions respiratoire, cardiovasculaire, neurologique, rénale, hépatique et thyroïdienne et à l'état cutané.

flashover constitue la transition entre un feu localisé (en croissance) et un feu généralisé (entièrement développé). Lors de cette deuxième phase, toutes les surfaces combustibles s'enflamment, la température dans la pièce s'élève entre 800 et 900 °C ; la production de fumées devient très importante. La phase de décroissance dépend de la quantité de combustible disponible mais également de l'action extinctrice des pompiers. Dans certains cas, lorsque le chef d'élément estime que les fumées sont suffisamment dissipées, il peut donner l'ordre de poursuivre la mission de déblaiement et d'inspection du site sans le port des protections respiratoires. Au cours de cette phase, une faible quantité de fumée est toujours produite. Bien que des moyens de ventilation soient fréquemment mis en œuvre, se pose alors la question de la toxicité aiguë et chronique de ces fumées pour les pompiers.

De nombreuses observations ont montré la présence, dans les fumées de ce type d'incendie, de cyanure d'hydrogène (HCN) et de nitriles, générés à partir des nombreux mobiliers et objets présents dans l'environnement domestique (tissus, meubles, ustensiles de cuisine, appareils ménagers et de loisirs...). En effet, la dégradation thermique de polymères, composant des matières plastiques d'usage courant, mais aussi de substances naturelles, comme la laine et la soie constituées de protéines, libère des nitriles et à haute température de l'HCN [1 à 3].

Bien absorbé par voie respiratoire, l'HCN génère rapidement un tableau clinique pouvant engager le pronostic vital (*encadré 1, page suivante*). L'intoxication cyanhydrique peut également résulter de l'exposition à des nitriles libérés par les foyers d'incendie. Les effets toxiques sont retardés car leur survenue nécessite la métabolisation du nitrile qui libère des ions cyanures. Dans tous les cas, cette intoxication cyanhydrique semble participer pour une grande part à la toxicité aiguë des fumées d'incendie, laquelle est

X. MICHEL<sup>1</sup>,  
S. BOHAND<sup>1</sup>,  
G. GAGNA<sup>1</sup>,  
A. LACOSTE<sup>2</sup>,  
L. GÉRAUT<sup>3</sup>,  
F. RIVIERE<sup>3</sup>,  
C. RENARD<sup>4</sup>,  
P. LAROCHE<sup>1</sup>

1. Service de Protection Radiologique des Armées, Clamart

2. laboratoire mobile de spectrométrie de masse, Bataillon des Marins Pompiers, Marseille.

3. Service de médecine de prévention du ministère de la Défense et des anciens combattants, Paris

4. Hôpital d'instruction des armées Percy, Clamart

**L**es pompiers sont exposés, lors de feux de logements ou de locaux professionnels, aux fumées émises lors des différentes phases de l'incendie.

La première phase de croissance est marquée par l'augmentation de l'émission de fumées toxiques. Le

## Rappels sur l'intoxication aiguë cyanhydrique

Le cyanure d'hydrogène (HCN) se présente sous forme d'un liquide au point d'ébullition très bas (26 °C) ou d'un gaz incolore d'odeur caractéristique d'amande amère, détectable, selon les individus, entre 0,58 ppm et 4,5 ppm. Son absorption par voie respiratoire est presque instantanée, portant sur plus de 60 % de la dose inhalée. Il peut exister une pénétration percutanée du gaz lorsqu'il est fortement concentré. Les ions cyanures (CN<sup>-</sup>) sont transportés fixés à l'hémoglobine et ont une distribution systémique rapide. L'HCN est biotransformé au niveau du foie et des reins par une thiosulfate-sulfure transférase en ion thiocyanate, éliminé principalement par voie urinaire. Il existe une voie métabolique secondaire (environ 15 %) par fixation sur la cystine. En cas d'intoxication aiguë, ces voies sont rapidement dépassées. La toxicité est notamment due à l'affinité de l'ion cyanure pour des cytochromes oxydases de la chaîne respiratoire mitochondriale, aboutissant à la formation d'un complexe réversible cytochrome oxydase-cyanure. L'ion cyanure réagit également avec la méthémoglobine pour former la cyanméthémoglobine. Le blocage de la chaîne respiratoire induit un déficit de l'apport énergétique au niveau cellulaire et finalement une anoxie tissulaire aiguë dont la première cible est le système nerveux central (lésions nécrotiques de la substance blanche, grise, du corps calleux ou de l'hippocampe...).

Pour l'HCN, les relations dose-effets chez l'adulte correspondent aux données suivantes [4], précisées par les valeurs publiées par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS) :

- au-delà de 200 ppm, le décès survient en quelques secondes ou minutes,
- de 100 à 150 ppm durant 20 minutes, l'intoxication systémique est potentiellement mortelle, associant notamment coma profond et choc cardiogénique,
- de 10 à 50 ppm durant 30 minutes à 1 heure, le sujet présente des signes généraux isolés, tels que malaise général, saveur amère dans la bouche, angoisse intense, céphalées, vertiges, confusion mentale, ainsi que des manifestations cardiorespiratoires diverses à type de dyspnée, oppression thoracique...

directement responsable de 80 % des décès constatés lors des feux [5 à 7]. Un petit nombre d'études montre que ce type d'exposition professionnelle, même sans symptomatologie aiguë, peut avoir un impact sur la santé des travailleurs sur le long terme [8].

Dans ce contexte, un projet d'étude a été conçu par le laboratoire mobile du Bataillon de Marins-Pompiers de Marseille (BMPM) afin de déterminer qualitative-

ment la composition des fumées d'incendie, puis de quantifier l'exposition à certains composés particulièrement toxiques lors des phases de déblaiement et d'inspection du site, lorsque les pompiers ne sont plus protégés par les appareils respiratoires isolants (ARI).

## Matériels et méthodes

En France, le BMPM est le premier corps de pompiers à s'être doté d'un laboratoire mobile de spectrométrie de masse, mis en service effectif en février 1996. Son utilisation systématique lors d'incendies importants ou d'accidents chimiques sur l'agglomération marseillaise permet une identification rapide des composés organiques toxiques présents dans l'air. Les équipements de mesure, dont un couplage chromatographie phase gazeuse et spectrométrie de masse (GC-MS), sont embarqués dans un véhicule d'intervention rapide, capable d'agir sur l'ensemble de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Il peut être amené à intervenir à la demande des autorités compétentes sur le territoire national, voire à l'étranger. Pour l'étude, le laboratoire mobile de spectrométrie de masse est sorti chaque fois qu'est survenu un feu non éteint dans les 10 minutes pour effectuer des prélèvements d'atmosphère au cours d'incendies, en ciblant particulièrement la phase de noyage et de déblaiement.

Les critères d'exclusion des incendies comprennent :

- les incendies mettant en jeu des produits chimiques industriels ainsi que les feux de forêts, qui répondent à des problématiques spécifiques ;
- les feux urbains pour lesquels une extinction complète a précédé la phase de noyage et déblaiement, de sorte qu'aucune fumée apparente n'était présente lors de la phase d'intervention sans protection respiratoire.

### PROTOCOLE

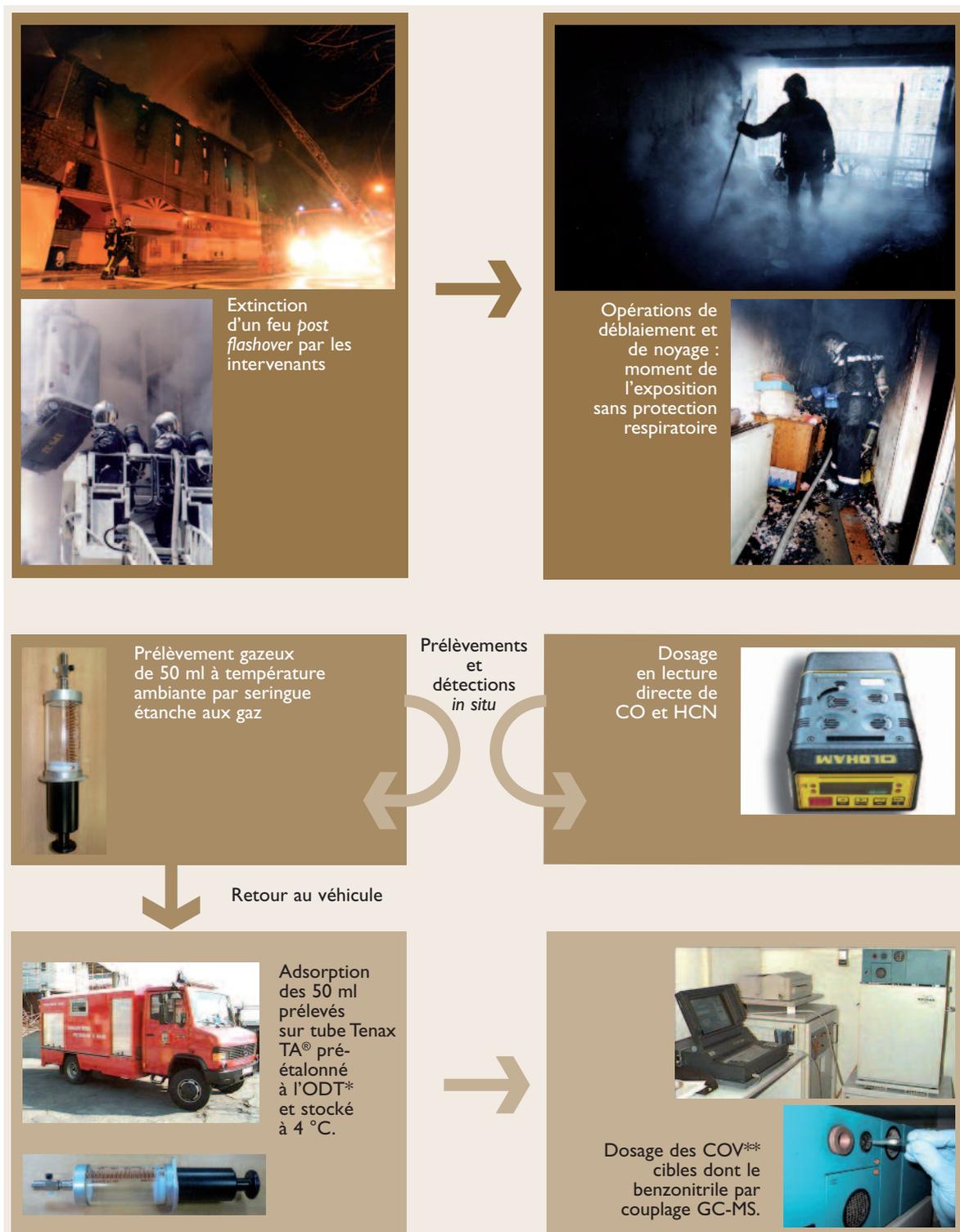
D'octobre 1996 à mai 2001, l'équipe du laboratoire mobile de spectrométrie de masse du BMPM avait mené une étude préliminaire sur 285 feux urbains afin d'identifier les composés présents dans les fumées d'incendie et de cibler les types d'incendie qui seraient intégrés pour la suite de l'étude. Les concentrations atmosphériques d'HCN et de benzonitrile (l'un des nitriles les plus fréquemment identifiés dans les foyers d'incendie) ont servi d'indicateurs de l'exposition aux cyanures et aux composés.

À partir de mai 2001, l'étude a concerné 82 feux urbains lors des opérations de noyage et de déblaiement,

de façon aléatoire, visant à déterminer la cinétique et les proportions présentes dans ces fumées. Les prélèvements atmosphériques ont été réalisés à hauteur des voies respiratoires des intervenants afin de mesurer les concentrations atmosphériques d'HCN, de monoxyde de carbone (CO) et de benzonitrile ( $C_6H_5CN$ ).

**MESURAGE DU CYANURE D'HYDROGÈNE ET DU MONOXYDE DE CARBONE (figure 1)**

Pour l'HCN et le CO, les dosages ont été effectués par détecteur à lecture directe (MX21, Oldham, Arras,



\* ODT : octadéutéro-toluène  
 \*\* COV : composés organiques volatiles

**Fig. 1 : Protocole de mesurage du CO, de l'HCN et du  $C_6H_5CN$ .**

France) équipé de cellule électrochimique étalonnée directement au BMPM couplée à une spectrométrie infrarouge par transformée de Fourier (IRTF). Le principe repose sur l'oxydoréduction des composés à détecter, celle-ci étant convertie en signal électrique proportionnel à la concentration du produit chimique dans l'air. Sur le lieu de l'intervention, la lecture est faite directement au niveau des voies respiratoires des intervenants, éventuellement dans l'ARI s'il est porté, permettant de mettre en évidence l'HCN dès 0,1 partie par million (ppm), avec une gamme de mesure de 0,1

à 30 ppm, et le CO dès 1 ppm, avec une gamme de mesure de 1 à 300 ppm.

#### MESURAGE DU BENZONITRILE (figure 1)

Pour le dosage des composés organiques volatils comme le benzonitrile, une méthode de quantification selon la norme AFNOR X43-290 [9] a été validée avec le concours du laboratoire de la Caisse régionale d'as-

TABLEAU I

Localisation des 82 déblaiements et concentrations minimales, maximales et médianes en CO, HCN et C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CN

Lieu	Nombre de feux	Éléments	Concentration (ppm)		
			Minimale	Maximale	Médiane
Habitation généralisée	21	CO	< LD	95	20
		HCN	< LD	0,7	0,1
		C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CN	< LD	0,45	< LD
Cave	11	CO	< LD	220	95
		HCN	< LD	0,75	< LD
		C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CN	< LD	4,7	0,2
Voiture	10	CO	< LD	0,7	< LD
		HCN	< LD	0,7	< LD
		C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CN	< LD	0,6	< LD
Chambre	9	CO	< LD	130	30
		HCN	< LD	4	0,1
		C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CN	< LD	1,6	0,1
Commerce	8	CO	< LD	125	45
		HCN	< LD	25	< LD
		C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CN	< LD	0,8	0,025
Détritus	8	CO	5	30	20
		HCN	< LD	0,75	< LD
		C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CN	< LD	0,2	< LD
Parking souterrain	4	CO	5	120	55
		HCN	< LD	2	0,5
		C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CN	< LD	2	0,1
Salon	4	CO	14	20	18
		HCN	< LD	0,2	0,1
		C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CN	< LD	0,3	0,05
Bureaux Locaux administratifs	3	CO	20	95	60
		HCN	< LD	0,3	0,2
		C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CN	< LD	< LD	< LD
Cuisine	2	CO	18	265	141,5
		HCN	< LD	< LD	< LD
		C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CN	< LD	0,5	0,25
Cages d'escalier	2	CO	11	20	15,5
		HCN	< LD	< LD	< LD
		C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CN	< LD	< LD	< LD
Total	82	CO			37,08
		HCN			0,07
		C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CN			0,05

CO : monoxyde de carbone - HCN : cyanure d'hydrogène - C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CN : benzonitrile

LD : limite de détection (0,1 ppm pour le HCN, 1 ppm pour le CO et 0,01 ppm pour le C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CN)

surance maladie devenue depuis la Caisse d'assurance retraite et de la santé au travail (CARSAT) Sud-est.

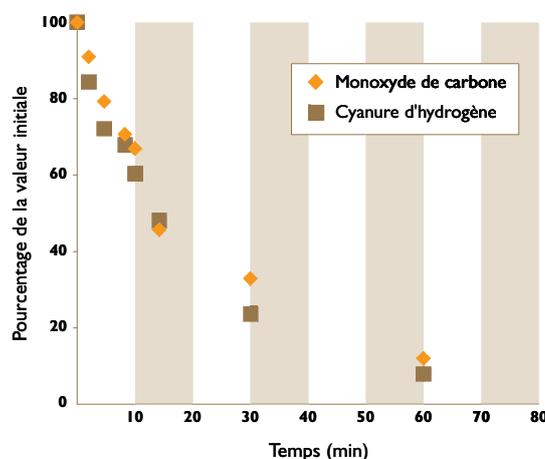
Sur le lieu de l'incendie, le prélèvement était réalisé, par un chimiste, au niveau des voies respiratoires des intervenants, avec une seringue de 50 ml, étanche au gaz et munie d'une vanne luer-lock. En moyenne, le chimiste effectuait 2 à 3 prélèvements de 3 secondes sur chaque feu. Dans un délai maximal de 10 minutes, revenu au camion, il poussait l'échantillon atmosphérique dans un tube Tenax TA® étalonné avec une atmosphère d'étalon interne (octadéutrotoluène [ODT] à 159 mg.m<sup>-3</sup>), sorti au dernier moment d'un réfrigérateur à 4 °C. Pour l'analyse, réalisée par GC-MS, chaque tube était désorbé dans un four à 220 °C durant 90 secondes. L'injection en tête froide de colonne chromatographique (40 °C) se faisait durant 15 secondes par un courant d'azote (30 kPa). La séparation des composés semi-volatils se faisait sur colonne capillaire greffée DB5 à phase stationnaire apolaire constituée de 5 % de phényle et 95 % de méthylpolysiloxane (diamètre interne : 0,32 nm ; épaisseur de film : 1 µm). Chaque produit identifié était ensuite quantifié par spectrométrie de masse. Les résultats obtenus sous forme de chromatogrammes et présentant un certain nombre de pics d'intérêt étaient comparés à des spectres de référence du *National Institute of Standards and Technology* (NIST). Chaque composé cible ainsi identifié était ensuite quantifié par étalonnage interne en mode *Single Ion Monitoring* (SIM).

## Résultats

L'étude a porté sur 82 opérations de déblaiement au cours desquelles les marins pompiers n'étaient pas protégés par des équipements de protection respiratoire (ARI ou autre).

La présence d'HCN et de benzonitrile a été détectée dans respectivement 25 % et 21 % des foyers.

La distribution des résultats des mesures réalisées lors des opérations de déblaiement est présentée dans le [tableau 1](#). Suivant les types de lieux, les concentrations atmosphériques minimales du CO varient d'une valeur inférieure à la limite de détection de la méthode à 20 ppm ; les concentrations maximales oscillent entre 0,7 ppm et 265 ppm. Pour l'HCN, les concentrations minimales sont toutes en dessous de la limite de détection ; les valeurs maximales évoluent entre une concentration inférieure à la limite de détection et 25 ppm. Enfin, pour le C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CN, les concentrations minimales sont toutes inférieures à la limite de détection ; les valeurs maximales sont comprises entre une concentration inférieure à la limite de détection et 4,7 ppm. Les médianes, tous types de lieux et tous feux confondus,



**Fig. 2 : Cinétique de la concentration en monoxyde de carbone (CO) et en cyanure d'hydrogène (HCN) lors de la phase de déblaiement d'un feu de commerce.**

sont de 0,07 ppm pour l'HCN, 0,05 ppm pour le C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CN et 37,08 ppm pour le CO.

La concentration la plus élevée d'HCN ayant été mesurée lors d'une intervention pour l'incendie d'un commerce, une attention particulière a été portée à l'ensemble des résultats concernant ce type de foyer. Sur les huit feux de commerce combattus, les concentrations atmosphériques mesurées sont comprises entre un taux inférieur à la limite de détection (< LD) et 25 ppm pour l'HCN, entre < LD et 0,7 ppm pour le C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CN, et entre < LD et 125 ppm pour le CO. En fait, les concentrations atmosphériques d'HCN sont très faibles dans 7 feux sur 8 feux et élevée, à 25 ppm, dans un seul, l'incendie complet d'un magasin de prêt-à-porter de plus de 100 m<sup>2</sup>. Pour ce site spécifique, la [figure 2](#) détaille la cinétique des concentrations en CO, HCN au cours de la phase de déblaiement. Celle d'HCN suit d'une façon générale la même cinétique que celle du CO, tout en restant à des concentrations beaucoup plus faibles. En 15 minutes, les concentrations en HCN et CO ont diminué environ de moitié par rapport aux premières valeurs mesurées.

## Discussion

### ANALYSE COMPARÉE DES RÉSULTATS ET DE LA LITTÉRATURE

L'étude de Brandt-Rauf et al. [10] a porté sur 14 incendies. Alors que le port d'ARI était partiel au sein de l'équipe d'intervention, les analyses ont mis en évi-

dence une mesure en HCN de 8,7 ppm concomitante avec une concentration en CO hautement toxique (1 087 ppm) et une mesure de HCN dans les fumées durant le flashover de 75 ppm.

Jankovic et al. [11] ont étudié 22 incendies : 6 entraînés, 15 résidentiels et 1 sur une voiture. Durant la phase de contrôle de l'incendie, il a été mesuré une concentration d'ambiance de HCN supérieure à 20 ppm, alors que le port d'ARI autonome était obligatoire. Toutes les mesures de HCN effectuées dans l'ARI se sont révélées inférieures à la limite de détection.

L'étude de Bolstad-Johnson et al. [12] a porté sur 25 incendies durant la phase de déblaiement et d'inspection de zone, correspondant à 14 maisons, 6 appartements et 5 immeubles commerciaux. Seulement 4 prélèvements présentaient des concentrations d'HCN détectables, toutes inférieures à 1 ppm.

Les résultats de l'enquête marseillaise sont concordants avec ceux des autres études. Lorsque les pompiers enlèvent leurs ARI, les concentrations atmosphériques d'HCN sont généralement négligeables, ce qui n'est pas le cas des concentrations de CO. Toutefois, dans certains cas très particuliers, l'incendie génère, au cours des phases de déblaiement, des émissions d'HCN importantes. Ce fut le cas, dans l'étude, de l'incendie du commerce de vêtements, ce qui s'explique aisément du fait de la présence de quantités importantes de polyamides et de polyacrylonitriles dans les tissus. La présence, sur le lieu du sinistre, de matières susceptibles de libérer de l'HCN est donc un paramètre essentiel dont il faudra tenir compte pour la prévention du risque d'intoxication.

L'étude de la cinétique des concentrations de CO et HCN sur le site du commerce de prêt-à-porter est particulièrement riche en enseignements, bien qu'elle soit unique. Elle montre en effet que les concentrations en CO et HCN diminuent de façon rapide et concomi-

tante durant la phase de déblaiement. Une détection de CO négative sur le site d'intervention serait donc prédictive d'une faible concentration en HCN sur le site ; mais cela reste à vérifier dans d'autres circonstances. Bien que l'exposition au HCN, dans cette intervention, n'ait pas été évaluée, celle-ci est probablement faible du fait de la courte persistance du HCN dans l'atmosphère du site au cours de la phase de déblaiement.

#### RISQUE D'INTOXICATION AIGUË OU SUBAIGUË

##### Au cours de la phase de travail sous protection respiratoire

L'émission de HCN peut être importante. Ainsi, Brandt et al. [10] rapportent une mesure d'HCN dans les fumées durant le flashover de 75 ppm, dans un contexte où les fumées étaient importantes. Il semble que la protection offerte aux pompiers par l'ARI soit performante, car les mesures réalisées par Jankovic et al. [11] sur l'air inspiré se sont toutes révélées inférieures à la limite de détection (LD) de 0,1 ppm. Par conséquent, le risque d'intoxication des pompiers durant cette phase de l'intervention semble faible, sauf dans deux circonstances :

- une défaillance ou un dépassement de l'autonomie de l'ARI qui obligerait le pompier à inhaler des fumées ;
- l'exposition aux fumées d'incendie du personnel de secours positionné à proximité du sinistre, sous le vent (conducteur du véhicule, équipes de secouristes, ambulanciers, personnel médical). À ce jour, ces expositions n'ont pas fait l'objet d'études.

##### Au cours de la phase de travail sans ARI

L'exposition à l'HCN est habituellement faible ou très faible. Toutefois, il est possible que les intervenants

TABLEAU II

Valeurs seuils des effets létaux, réversibles et irréversibles pour le monoxyde de carbone [d'après 13]

Seuils	Temps									
	10'		20'		30'		60'		120'	
	mg.m <sup>-3</sup>	ppm								
Seuil des effets létaux significatifs - SELS					Non déterminé					
Seuil des premiers effets létaux - SPEL	8 050	7 000	5 750	5 000	4 830	4 200	3 680	3 200	2 645	2 300
Seuil des effets irréversibles - SEI	2 990	2 600	2 070	1 800	1 725	1 500	920	800	460	400
Seuil des effets réversibles - SER					Non déterminé					

soient exposés à des concentrations plus importantes en HCN lorsque l'incendie concerne des polymères synthétiques ou naturels. Dans le cas de l'incendie du commerce de prêt-à-porter, mentionné plus haut, la concentration en HCN a probablement dépassé la valeur limite d'exposition (VLE) sur 15 minutes (10 ppm). Toutefois, elle est restée, du fait de sa rapide décroissance, très en deçà des valeurs seuil associées aux premiers effets létaux [4].

Dans l'étude présente, les résultats élevés en HCN sont rares, une seule observation de ce type (25 ppm de HCN) est disponible. Il n'est donc pas impossible que dans certaines circonstances, les pompiers soient exposés à des concentrations plus élevées en HCN au cours de cette phase de l'intervention. Il semble indispensable de multiplier les mesurages de composés cyanhydriques au cours de feux en milieu professionnel.

Pour ce qui concerne le CO, les résultats de l'étude montrent une valeur maximum de 265 ppm, ce qui est rassurant au regard des valeurs publiées par l'INERIS ([tableau II](#)). En effet, ce résultat reste très inférieur à la valeur seuil des premiers effets létaux (SPEL) et à la valeur seuil des effets irréversibles (SEI), même si la durée d'exposition était prolongée.

Les données de la relation dose-effet présentées par Tissot [4] ont été établies à partir de données expérimentales d'exposition isolées au HCN ou au CO. Elles ne tiennent pas compte des éventuelles interactions entre les différents toxiques présents dans les fumées d'incendie qui sont un mélange très variable de nombreux composés chimiques présentant chacun une toxicité intrinsèque. Un rapport de la *National Academy of Sciences* [5] aux Etats-Unis, pointe le risque de synergie entre les toxicités du CO et du HCN, tout en soulignant la nécessité de mener des investigations complémentaires. Il a ainsi été montré qu'un nombre important de décès au cours d'incendies est d'origine toxique, alors que les concentrations dans les prélèvements sanguins en ion cyanure et en carboxyhémoglobine n'atteignent pas les valeurs considérées comme létales [6]. Plusieurs hypothèses peuvent être proposées, comme l'existence d'une synergie entre l'HCN et le CO dans un contexte d'hypoxie relative, ou entre l'HCN et d'autres composés des fumées, en particulier les suies avec leurs nombreux composés organiques volatils (COV). En 2006, dans la ville de Providence (USA) un pompier exposé aux fumées d'incendie d'un restaurant a présenté un état confusionnel ; le lendemain un autre pompier de 50 ans succomba à un arrêt cardiaque en cours d'intervention sur un incendie de logement. Les dosages sanguins des ions cyanures étaient dans les deux cas juste au-dessus des valeurs habituellement retrouvées chez le fumeur (respectivement 57 et 66  $\mu\text{g}\cdot\text{dL}^{-1}$ ) [7]. La part exacte de l'intoxication cyanhydrique dans cet accident est très difficile à estimer. Une synergie entre le cyanure et les

autres toxiques présents dans les fumées peut avoir joué un rôle.

## EVALUATION DU RISQUE D'EFFETS RETARDÉS ET CUMULATIFS

### Effets d'une exposition chronique

Peu de publications ont montré que les pompiers pouvaient être exposés à des composés cyanhydriques à de faibles doses [14], en particulier lors des opérations de noyage et de déblaiement. Cette exposition chronique pourrait avoir des conséquences non négligeables mais elles restent encore largement controversées.

La toxicité chronique des composés cyanhydriques se manifesterait principalement sur la fonction thyroïdienne, avec la survenue de goitres [8, 15], et sur la fonction hépatique [16]. De nombreux symptômes non spécifiques semblent liés à l'exposition chronique aux composés cyanhydriques et aux vapeurs d'HCN en milieu professionnel. Ils sont décrits chez des sujets travaillant dans des ateliers de galvanoplastie ou de récupération de métaux qui présentent des dermatoses, fréquemment accompagnées de prurit, d'érythème et de papules. Des irritations nasales sévères peuvent aboutir à une obstruction, à des saignements, à des escarres et, dans certains cas, à la perforation de la cloison nasale. Chez des travailleurs réalisant des traitements par fumigations d'HCN, une intoxication à des concentrations modérées de composés cyanhydriques serait responsable d'une carence en oxygène, de céphalées, d'une tachycardie et de nausées. Tous ces troubles sont totalement réversibles après cessation de l'exposition au produit toxique [17, 18].

### Exposition chronique et valeurs limites réglementaires

Le risque lié à l'exposition aux composés cyanhydriques doit être pris en compte dans l'évaluation du risque professionnel des pompiers car ces différents composés sont présents à des taux variables, quel que soit le type de feu. Les valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour l'HCN proposées par différents organismes et autorités, sont récapitulées dans le [tableau III, page suivante](#).

Dans l'étude présente, peu de feux ont entraîné un dépassement des valeurs limites françaises : trois pour la valeur moyenne d'exposition sur 8 heures (VME) de l'HCN (2 ppm) et un seul pour la valeur court terme (VLCT) (10 ppm) pendant la phase de noyage et de déblaiement. Dans plusieurs cas, l'HCN n'était pas

TABLEAU III

**Valeurs toxicologiques de référence pour des effets avec seuil pour l'HCN [19]**

	Voie d'exposition	Valeur de référence
US (EPA)	Orale	0,02 mg.kg <sup>-1</sup> .j <sup>-1</sup>
US (EPA)	Inhalation	0,003 mg.m <sup>-3</sup>
OMS	Orale	12 µg.kg <sup>-1</sup>
RIVM	Orale	0,05 mg.kg <sup>-1</sup> .j <sup>-1</sup>
RIVM	Inhalation	0,025 mg.m <sup>-3</sup>
OEHHA	Inhalation aiguë	340 µg.m <sup>-3</sup>
OEHHA	Inhalation chronique	9 µg.m <sup>-3</sup>

OEHHA= Office of environmental health hazard assessment

RIVM= Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu

US EPA= US environmental protection agency

OMS= Organisation mondiale de la santé

mesurable, probablement du fait des limites de détection propres aux techniques de mesures utilisées. La concentration en cyanures est également dépendante du moment où interviennent les pompiers. Ainsi, Levine [20] trouve une concentration atmosphérique en cyanures et en CO très importante après le flashover pouvant atteindre plusieurs centaines de ppm avec des effets potentiellement mortels pour le CO (la valeur limite d'exposition professionnelle sur 8 heures pour ce dernier est de 50 ppm, il n'existe pas de VLCT).

**Évaluation du risque chronique chez les pompiers**

À partir de cette estimation de l'exposition globale du pompier pendant les phases de noyage et de déblaiement, il est possible de calculer un quotient de danger en utilisant la valeur toxicologique de référence de l'*United States environmental protection agency* (US EPA) et en considérant que la seule voie d'exposition est l'inhalation. Pour une exposition moyenne de 0,07 mg.m<sup>-3</sup>, ce quotient est de 2,05.10<sup>-4</sup>. Ce résultat exclut, *a priori*, la survenue d'un effet sur la santé.

L'utilisation de cette valeur doit rester cependant prudente. D'une part, elle suppose une relation dose-effet linéaire et d'autre part, elle est calculée initialement pour la population générale. Dans l'étude menée à Marseille, le temps moyen passé par intervention pour un pompier sur cette phase peut raisonnablement être estimé à environ une heure. Ces opérations peu-

vent atteindre de 30 minutes à 4 heures pour un entrepôt ou un édifice effondré. Ainsi, le temps passé annuellement par un pompier dans ces opérations de déblaiement peut raisonnablement être estimé en moyenne à 47 heures uniquement pour la partie feu d'habitation (feux de forêt exclus).

D'autre part, les feux de forêts, très producteurs de benzène, ont été exclus. Or pendant ceux-ci, les pompiers sont exposés, sans ARI, à des combustions de végétaux, ce qui peut introduire un biais dans le sens d'une augmentation des risques d'exposition.

Néanmoins ce quotient de danger garde toute sa pertinence pour servir de base à l'élaboration des politiques de gestion des risques.

## Conséquences pour la prévention

### PRÉVENTION ET PRISE EN CHARGE DE L'INTOXICATION AIGUË

Au cours de l'intervention, la vigilance vis-à-vis des fumées d'incendie doit être accrue :

- en l'absence de protection respiratoire, ce qui concerne souvent les sauveteurs non professionnels ;
- dans les situations où les sauveteurs sont proches du site de production des fumées ou bien situés sous le vent du foyer ;
- en cas d'activité physique importante, ce qui augmente la ventilation et donc l'absorption pulmonaire des gaz toxiques ;
- en cas de présence de grandes quantités de polymères artificiels ou naturels sur le site.

Lors des phases de noyage et de déblaiement, la pièce doit être correctement ventilée. En cas de pénétration dans une zone exposant aux fumées, chaque pompier doit être équipé d'un appareil respiratoire isolant à adduction d'air [21, 22]. Comme l'autonomie de ces appareils n'excède pas 30 minutes, les pompiers doivent normalement régulièrement changer leur appareil respiratoire. L'expérience montre que cette étape n'est pas tout le temps réalisée et qu'un grand nombre des intervenants retirent tout simplement leur masque. Dans ce contexte, il serait intéressant que les pompiers disposent d'appareils de protection respiratoire à cartouche permettant de filtrer aussi bien les composés cyanhydriques que d'autres composés organiques tels que le CO ou les COV [12]. Il serait indispensable que les cartouches soient munies de dispositif de détection de claquage (indicateur de saturation de la cartouche filtrante) pour s'assurer de leur réelle efficacité.

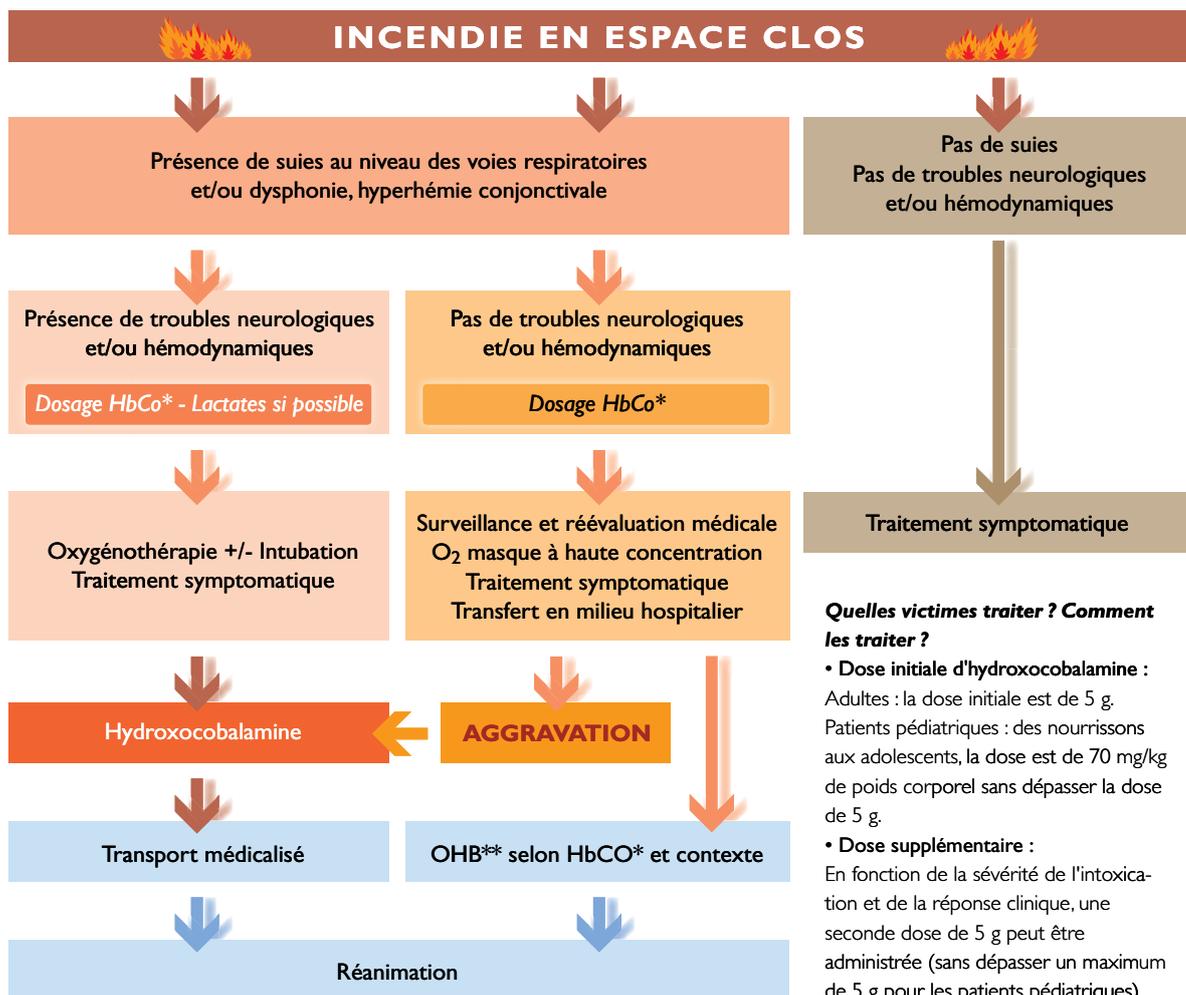
La détection *in situ* de la présence de CO par des appareils portatifs semble ici indispensable :

- la présence excessive d'HCN est souvent concomitante à celle de CO [23] ;
- la cinétique d'évolution de la concentration d'HCN est comparable à celle du CO ;
- il est possible que l'action conjuguée de ces deux gaz aboutisse à une potentialisation de leurs effets toxiques.

Une intoxication à l'HCN présent dans les fumées d'incendie ne peut être écartée, notamment lorsque des polymères artificiels ou naturels sont présents en grandes quantités sur le site. Dans ce cas, la présence de composés cyanhydriques n'étant pas toujours suspectée dans une atmosphère de feu urbain, il faudra être vigilant à l'apparition des signes d'intoxication aiguë décrits ci-dessus car le délai entre l'exposition et l'apparition de ces signes est très court.

En cas de doute sur une intoxication aiguë aux composés cyanhydriques, le traitement doit être mis en œuvre aussi rapidement que possible. Celui-ci repose sur l'administration d'oxygène et d'antidotes ; il doit être administré, sur zone, par le médecin sur simple présomption [24, 25]. L'oxygénothérapie a démontré son efficacité expérimentalement et sur le terrain. Son mode d'action reste cependant incertain : il semblerait que l'oxygène permette une réactivation de la cytochrome oxydase. Dans tous les cas, elle participe à l'activation des voies métaboliques impliquées dans la détoxification endogène et potentialise l'efficacité des antidotes.

Du fait du court délai entre l'exposition et l'apparition effective des signes cliniques, il est important que les antidotes soient utilisés le plus rapidement possible et donc qu'ils soient présents dans les véhicules de secours et dans les entreprises où le risque est élevé. Les principaux antidotes disponibles en France sont



\*HbCO : Carboxyhémoglobine  
\*\* OHB : Oxygénothérapie hyperbar

Fig. 3 : Algorithme de prise en charge médicale en cas d'intoxication aiguë aux agents cyanhydriques (d'après [29]).

l'EDTA dicobaltique (Kélocyanor®) et l'hydroxocobalamine (Cyanokit®).

L'EDTA dicobaltique (Kélocyanor®) est caractérisé par sa rapidité et sa longue durée d'action et par son efficacité. Il est responsable néanmoins de nombreux effets secondaires qui limitent son utilisation. Les effets cardiovasculaires (hypotension ou hypertension brutale, tachycardie, troubles de l'excitabilité myocardique) peuvent être associés à des nausées, vomissements, diarrhées, sueurs profuses, tremblements, convulsions et réactions anaphylactoïdes. Tous ces effets sont d'autant plus sévères que l'EDTA dicobaltique est administré sur la simple hypothèse d'une intoxication cyanhydrique dans un feu sans intoxication réelle. Il est donc réservé aux intoxications confirmées et lorsque les thérapeutiques précédentes se révèlent insuffisantes.

L'antidote couramment utilisé en France et qui a reçu récemment l'autorisation de mise sur les marchés européen [26], américain et japonais est l'hydroxocobalamine (Cyanokit®). C'est le traitement recom-

mandé [27, 28] dans les intoxications par inhalation des fumées d'incendie.

La *figure 3, page précédente*, détaille l'algorithme utilisé par la Brigade des sapeurs pompiers de Paris (BSPP) pour la prise en charge médicale d'intoxications aiguës aux fumées contenant des composés cyanhydriques.

### PRÉVENTION ET SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION CHRONIQUE

La surveillance médicale des pompiers pouvant être exposés aux cyanures (lors d'interventions dans des entreprises à risque : traitements de surfaces, entreprises de matières plastiques), doit porter sur les voies respiratoires, le système cardiovasculaire, le système nerveux central, les fonctions rénale, hépatique et thyroïdienne et l'état de la peau. L'interrogatoire à la recherche d'antécédents d'évanouissements ou d'étourdissements est nécessaire pour retrouver d'éventuelles intoxications à bas bruit aux composés toxiques des feux. Les travailleurs atteints de maladies chroniques rénales, respiratoires, cutanées ou thyroïdiennes sont davantage exposés aux effets toxiques que les travailleurs sains. L'affectation à des postes de travail exposés aux cyanures doit donc être évaluée avec prudence.

Pour confirmer l'absence de risque chez des pompiers professionnels ou volontaires qui interviennent sur un certain nombre de feux dans l'année, le dosage des cyanures et des lactates sanguins reste la technique de référence. Pour des expositions plus difficiles à préciser, il serait intéressant de réaliser un dosage des thiocyanates urinaires [30] qui sont des marqueurs d'une intoxication chronique par inhalation. Les concentrations augmentent au 3<sup>e</sup> jour après l'exposition et commencent à diminuer au 6<sup>e</sup> jour [31]. Le *tableau IV* récapitule les principales caractéristiques de ce prélèvement. Certains auteurs proposent également le dosage des thiocyanates salivaires comme dans les expositions chroniques à la fumée de cigarette [32]. Si ceux-ci sont anormaux, une surveillance biologique thyroïdienne (TSH) est à prévoir.

TABLEAU IV

#### Dosage des thiocyanates urinaires

<b>Valeurs des non-exposés</b>
→ < 2,5 mg/g créatinine chez les non-fumeurs
→ < 5 mg/g créatinine chez les fumeurs
<b>Valeurs pour exposés</b>
→ < 4,06 mg/g créatinine (= 70 µmol/g créatinine) chez les non-fumeurs
→ < 9,86 mg/g créatinine (= 170 µmol/g créatinine) chez les fumeurs
<b>Type de prélèvement</b>
→ Tube de 10 ml en polypropylène
<b>Conservation du prélèvement</b>
→ < 8 °C
<b>Jour de prélèvement</b>
→ Fin de semaine
<b>Méthode de dosage</b>
→ Colorimétrie
<b>Interférences</b>
→ Tabagisme
→ Alimentation (choux, maïs, manioc, moutarde, fruits de mer)
→ Médicaments (vitamine C)
→ Autres expositions (acétonitrile)

## Conclusion

L'étude présentée ici a montré que les pompiers pouvaient être exposés à des composés cyanhydriques lors des émissions d'importance variable selon le feu urbain pendant les opérations de noyage et de déblaiement. Cette exposition est plus importante pour les

feux de commerce et est négligeable pour les feux de détritus. Il est donc important de prendre en compte le cyanure et ses dérivés dans la gestion du risque.

En cas d'intoxication aiguë au cyanure d'hydrogène, il est nécessaire d'administrer très rapidement le traitement antidotal. La thérapeutique de référence, validée par la communauté européenne pour son innocuité, est l'hydroxocobalamine (Cyanokit®). Il est indispensable que ce médicament soit mis en place dans les véhicules d'intervention.

Du fait des expositions à de faibles doses de cyanure d'hydrogène retrouvées dans les feux urbains par rapport à d'autres études en milieu professionnel, le médecin du travail doit s'attacher à surveiller ces pompiers, afin de dépister précocement des effets cliniques dus à la toxicité chronique du cyanure, par la biométrie des thiocyanates urinaires qui sont le reflet de l'exposition chronique aux composés cyanhydriques.

#### Conflits d'intérêts

Aucun.

**Remerciements.** Les auteurs remercient chaleureusement le Dr Robert Garnier, chef du centre antipoison et de toxicovigilance de Paris, et le Dr Michel Falcy, responsable du pôle risques toxicologiques du département Études et assistance médicales de l'INRS pour leurs conseils avisés et leur disponibilité lors de la rédaction de cet article scientifique.

### Points à retenir

**La présence dans les fumées d'incendie de cyanure d'hydrogène et de composés nitriles, même à faible concentration, oblige l'employeur à mettre en place une démarche d'évaluation du risque d'intoxication par les composés cyanhydriques.**

**En l'absence d'information sur les entreprises susceptibles de détenir des composés générateurs lors de leur combustion, les intervenants, en particulier les pompiers d'entreprises, doivent impérativement disposer de moyens de protection respiratoire.**

**En cas d'intoxication aiguë par des composés cyanhydriques, l'hydroxocobalamine reste le traitement de choix et doit être disponible dans les véhicules d'intervention pour une administration aussi rapide que possible.**

**À plus long terme, les risques de toxicité chronique, en particulier sur la thyroïde, doivent être pris en compte par la surveillance médicale de ces personnels et si possible par le dosage des thiocyanates urinaires.**

## Bibliographie

- [1] MAIRESSE M, PETIT JM, CHÉRON J, FALCY M - Produits de dégradation thermique des matières plastiques. Note documentaire ND 2097. *Cah Notes Doc.* 1999 ; 174 : 47-57.
- [2] NIELSEN M, JURASEK P, HAYASHI J, FURIMSKY E - Formation of toxic gases during pyrolysis of polyacrylonitrile and nylons. *J Anal Appl Pyrolysis.* 1995 ; 35 (1) : 43-51.
- [3] BETOL E, MARI F, ORZALESI G, VOLPATO I - Combustion products from various kinds of fibers: toxicological hazards from smoke exposure. *Forensic Sci Int.* 1983 ; 22 (2-3) : 111-16.
- [4] TISSOT S, PICHARD A - Seuils de toxicité aiguë Acide Cyanhydrique (HCN), Rapport final. Verneuil-en-Halatte : INERIS ; 2005 : 48 p.
- [5] Combined exposures to hydrogen cyanide and carbon monoxide in army operations: initial report. Washington : the National Academies Press ; 2008 : 42 p.
- [6] BAUD F, BARRIOT P, TOFFIS V, RIOUS B ET AL - Elevated blood cyanide concentrations in victims of smoke inhalation. *N Engl J Med.* 1991 ; 325 (25) : 1761-66.
- [7] VARONE JC, WARREN TN, JUTRAS K, MOLIS J ET AL - Report of the investigation committee into the cyanide poisonings of Providence firefighters. *New Solut.* 2008 ; 18 (1) : 87-101.
- [8] BANERJEE KK, BISHAYEE A, MARIMUTHU P - Evaluation of cyanide exposure and its effect on thyroid function of workers in a cable industry. *J Occup Environ Med.* 1997 ; 39 (3) : 258-60.
- [9] Air des lieux de travail. Prélèvement et dosage de mélanges de vapeurs d'hydrocarbures de C6 à C12. Norme expérimentale X 43-290. Indice de classement X 43-290. Paris-La Défense : AFNOR ; 1993 : 24 p.
- [10] BRANDT-RAUF PW, FALLON LF JR, TARANTINI T, IDEMA C ET AL - Health hazards of firefighters: exposure assessment. *Br J Ind Med.* 1988 ; 45 (9) : 606-12.
- [11] JANKOVIC J, JONES W, BURKHART J, NOONAN G - Environmental study of firefighters. *Ann Occup Hyg.* 1991 ; 35 (6) : 581-602.
- [12] BOLSTAD-JOHNSON DM, BURGESS JL, CRUTCHFIELD CD, STORMENT S ET AL - Characterization of firefighter exposures during fire overhaul. *AIHA J.* 2000 ; 61 (5) : 636-41.
- [13] Monoxyde de carbone. Fiches de seuils de toxicité aiguë. INERIS, 1998 ([www.ineris.fr/fr/fiches-de-seuils-de-toxicite-aiguë/fiches-de-seuils-de-toxicite-aiguë/502](http://www.ineris.fr/fr/fiches-de-seuils-de-toxicite-aiguë/fiches-de-seuils-de-toxicite-aiguë/502)).
- [14] SYMINGTON IS, ANDERSON RA, THOMSON I, OLIVER JS ET AL - Cyanide exposure in fires. *Lancet.* 1978 ; 2 (8080) : 91-92.
- [15] BLANC P, HOGAN M, MALLIN K, HRYHORCZUK D ET AL - Cyanide intoxication among silver reclaiming workers. *JAMA.* 1985 ; 253 (3) : 367-71.
- [16] SOUSA AB, SOTO-BLANCO B, GUERRA JL, KIMURA ET ET AL - Does prolonged oral exposure to cyanide promote hepatotoxicity and nephrotoxicity? *Toxicology.* 2002 ; 174 (2) : 87-95.
- [17] BONNARD N, FALCY M, JARGOT D - Cyanure d'hydrogène et solutions aqueuses. Fiche toxicologique FT 4. Paris : INRS ; 2011 : 7 p.
- [18] Propriétés des composés cyanés. In: STELLMAN JM (Ed) - Encyclopédie de sécurité et de santé au travail, 3<sup>e</sup> édition française, traduction de la 4<sup>e</sup> édition anglaise. Volume 4. Genève : Bureau International du Travail ; 2004 : 169-82.
- [19] BISSON M, BUREAU J, DENYS S, LEFEBVRE JP ET AL - Cyanures et dérivés. Fiches de données toxicologiques et environnementales. Verneuil-en-Halatte : INERIS ; 2011 : 72 p.
- [20] LEVINE RS, NELSON HE - Full scale simulation of a fatal fire and comparison of results with two multiroom models. NIST, 1990 ([www.fire.nist.gov/bfrlpubs/bfrlall/auth/1643.html](http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/bfrlall/auth/1643.html)).
- [21] LAVIGNE J, ROY LA, LEFEBVRE LF - Les cyanures, section B-I. In: Roy LA, Brodeur J, Lavigne J, Lefebvre LF - Guide toxicologique pour les urgences en santé environnementale. Institut national de santé publique du Québec, 2004 ([www.inspq.qc.ca/pdf/publications/276-GTU-SanteEnvironnementale/](http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/276-GTU-SanteEnvironnementale/)).
- [22] JOUANNIQUE V, HURE P, FALCY M - Les appareils de protection respiratoire. Éléments médicaux de détermination d'aptitude à leur utilisation. *Doc Méd Trav.* 1993 ; 56 : 321-31.
- [23] CURRIE J, CASEMAN D, ANTHONY TR - The evaluation of CBRN canisters for use by firefighters during overhaul. *Ann Occup Hyg.* 2009 ; 53 (5) : 523-38.
- [24] COENTRAO L, MOURA D - Acute cyanide poisoning among jewelry and textile industry workers. *Am J Emerg Med.* 2011 ; 29 (1) : 78-81.
- [25] CHATAIGNER D, GARNIER R, ELMALEM J, ROSENBERG N ET AL - Intoxication aiguë par inhalation d'acide cyanhydrique. Une urgence en médecine du travail. *Arch Mal Prof.* 1989 ; 50 (5) : 441-45.
- [26] Rapport européen public d'évaluation (EPAR). Cyanokit®. Résumé EPAR à l'intention du public. European Medicines Agency, 2007 ([www.ema.europa.eu/docs/fr\\_FR/document\\_library/EPAR\\_-\\_Summary\\_for\\_the\\_public/human/000806/WC500036362.pdf](http://www.ema.europa.eu/docs/fr_FR/document_library/EPAR_-_Summary_for_the_public/human/000806/WC500036362.pdf)).
- [27] DESLAURIERS CA, BURDA AM, WAHL M - Hydroxocobalamin as a cyanide antidote. *Am J Ther.* 2006 ; 13 (2) : 161-65.
- [28] DUENAS-LAITA A, BURILLO PUTZE G, ALONSO JR, BAJO A ET AL - Bases del manejo clinico de la intoxicacion por humo de incendios "Docohumo Madrid 2010". *Med Intensiva.* 2010 ; 34 (9) : 609-19.
- [29] RIVIÈRE F, BOHAND S, FUILLA C, PETIT JL ET AL - Intoxication cyanhydrique : y penser ! *Méd Armées.* 2010 ; 38 (5) : 387-96.
- [30] EL GHAWABI SH, GAAFAR MA, EL-SAHARTI AA, AHMED SH ET AL - Chronic cyanide exposure: a clinical, radioisotope, and laboratory study. *Br J Ind Med.* 1975 ; 32 (3) : 215-19.
- [31] Cyanure d'hydrogène. In : BIOTOX. Guide biotoxicologique pour les médecins du travail. Inventaire des dosages biologiques disponibles pour la surveillance des sujets exposés à des produits chimiques. INRS, 2010 ([www.inrs.fr/biotox](http://www.inrs.fr/biotox)).
- [32] YAMANAKA S, TAKAKU S, TAKAESU Y, NISHIMURA M - Validity of salivary thiocyanate as an indicator of cyanide exposure from smoking. *Bull Tokyo Dent Coll.* 1991 ; 32 (4) : 157-63.