Article original

Enquête au décours d'une suspicion d'intoxication au monoxyde de carbone lors d'une exposition professionnelle accidentelle des pompiers de la base aérienne de Cazaux

L. BERTRAND[(1)], J. BOISSIN[(2)], C. MILLET[(3)], A. THOUVENOT[(4)], A. LICARDIE[(5)]

(1,4) 12e Centre Médical, 186e Antenne Médicale, Cazaux
(2,3) Département de Médecine Aéronautique Opérationnelle, Mont-de-Marsan
(5) 12e Centre Médical, Bordeaux

Auteur correspondant : madamebertrand@hotmail.com

Open access DOI
10.17184/eac.8370

Reçu
le 20 mars 2018

Accepté
le 23 janvier 2024

Publié
le 5 mars 2024

Conflit d'intérêt
Les auteurs ne déclarent pas de conflit d'intérêt.

Résumé :
L'objectif est d'évaluer le taux de monoxyde de carbone (SpCO) et de méthémoglobinémie (SpMet) chez les pompiers de l'aire à feu à gaz de Cazaux et d'évaluer l'impact des manœuvres sur ces mesures.
Suite à une suspicion d'intoxication professionnelle au monoxyde de carbone chez cinq pompiers en formation, 548 mesures ont été réalisées sur 90 pompiers entre mai et juillet 2017 avec le CO-oxymètre de pouls Rad-57®, 274 avant et 274 après les feux. Avant exposition au feu, les valeurs de SpCO sont majoritairement basses : environ 93 % des mesures de SpCO sont inférieures à 3 % ($n = 254$), 7 % sont comprises entre 3 et 6 % ($n = 19$), une seule mesure de SpCO est à 6 %. Seules 62 % des mesures de SpMet sont inférieures au seuil de significativité (1 %), 36 % sont comprises entre 1 et 2 % et 2 % sont > 2 %. Après exposition, la majorité des mesures de SpCO a significativement diminué ($p < 0{,}001$) alors que la SpMet moyenne a significativement augmenté ($p = 0{,}003$) : environ 54 % des mesures de SpMet sont < 1 % et 14 % sont > 2 %. Le statut tabagique, le post prandial, le statut du pompier (instructeur versus stagiaire) et le type de manœuvre sont des facteurs significatifs.
Toutes les mesures de CO réalisées sont considérées comme normales au vu de la réglementation (SpCO < 3 % chez le non-fumeur et 6 % chez le fumeur) dans le contexte habituel de travail chez des pompiers asymptomatiques. Cependant, vu l'environnement de l'aire à feu et les résultats de

notre étude, nous proposons de suspecter une intoxication au CO chez un pompier présentant des symptômes et une SpCO $\geq$ 3 % quel que soit son statut tabagique. La SpMet, sans être toxique aux valeurs relevées, potentialise les effets de l'intoxication au CO. Une des causes possibles de cette méthémoglobinémie pouvant être les produits nettoyants, nous recommandons de nettoyer et laisser sécher à l'air libre les appareils respiratoires isolants avant de les porter.

Mots-clés : Exposition professionnelle. Méthémoglobine. Monoxyde de carbone. Pompiers. Médecine d'armée.

Abstract:
STUDY AFTER A SUSPECTED CARBON MONOXIDE POISONING DURING AN ACCIDENTAL OCCUPATIONAL EXPOSURE OF CAZAUX AIRBASE FIREFIGHTERS
The objective is to evaluate carbon monoxide (SpCO) and methemoglobin (SpMet) levels in firefighters at the Cazaux gas fireground and to assess the impact of the maneuvers on these measurements.
After a suspicion of carbon monoxide poisoning of five firefighters, 548 measurements on 90 firefighters were made between May and July 2017 with the pulse CO-Oximeter RAD57, 274 before and 274 after firefighting. Before firefighting, the SpCO values were mainly low: around 93% of the measurements had a SpCO lower than 3%, 7% (19 firefighters) had a SpCO between 3 and 6% and one firefighter had a SpCO higher than 6%. Only 62% of the measurements had a SpMet lower than the significance threshold (1%), 36% had a SpMet between 1 and 2%, 2% higher than 2%. After firefighting, almost all SpCO measurements decreased ($p < 0.001$) but the average SpMet increased significantly ($p = 0.003$): only 54% had a SpMet lower than 1% and 14% higher than 2%. Tobacco, postprandial, firefighter's status (instructor *vs* trainee) and the type of maneuvers are significant factors.
All CO measurements are inside the standard value (SpCO < 3% for the non-smoker and 6% for the smoker) in the usual professional context for asymptomatic firefighters. Given the conditions around the fire area, we suggest suspecting CO poisoning for a symptomatic firefighter with a SpCO above 3% (smoker or non-smoker). The SpMet (no toxic levels in measured values) potentiates the effects of the CO. One likely cause may be the cleaning products, so we recommend cleaning and drying in open air the self-contained breathing apparatus before using it.

Keywords: Carbon monoxide. Firefighters. Methemoglobin. Occupational exposure. Military medicine.

Published in : Service de santé des armées, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.1*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005410, doi : 10.17184/eac.9782813005410

Introduction

Les pompiers sont exposés aux fumées d'incendie lors de leurs interventions mais aussi lors de leurs entraînements sur les aires à feu. Ces fumées produisent, entre autres, des gaz asphyxiants comme le monoxyde de carbone dont la concentration est maximale dès les premières minutes mais aussi des gaz irritants dont le nitrométhane qui, en se liant à l'hémoglobine, donnera la méthémoglobine (1,2).

L'Aire à feu à gaz (AFG) est un environnement par définition pollué et dégage à chaque feu des quantités importantes de monoxyde de carbone. La configuration de celle de Cazaux a été étudiée et les mesures d'air réalisées sont conformes à la règlementation. Aucun dépassement de la valeur limite d'exposition professionnelle concernant les poussières, le noir de carbone, le monoxyde et dioxyde de carbone et le dioxyde de souffre n'a été mesuré.

Cependant, le 23 mars 2017, cinq personnes ont été victimes de malaises le même jour sur l'aire à feu. L'intoxication au monoxyde de carbone a été suspectée cliniquement (céphalées, nausées, marche en étoile et/ou nystagmus). L'interprétation des résultats de carboxyhémoglobinémie (HbCO) réalisée à distance de l'incident était douteuse (HbCO entre 3,1 et 6,5 % deux heures après le début des symptômes). Trois personnes ont tout de même bénéficié d'une heure de caisson hyperbare pour traiter les troubles neurologiques.

Plusieurs hypothèses ont été émises :

- Pollution des bouteilles d'Air de l'appareil respiratoire isolant (ARI) : cette hypothèse a été rejetée, les analyses n'ayant pas retrouvé de pollution.
- Défaut d'étanchéité des ARI lors des manœuvres lié à un port inadapté de l'ARI (mauvais serrage du masque, fuites liées au port de la barbe, malposition de la cagoule…).
- Inhalation à distance d'air pollué par les stagiaires : intoxication aiguë lorsque les stagiaires sont spectateurs de l'exercice en cours. Observateurs de l'exercice, ils se placent à une distance de sécurité du feu sans ARI.
- Exposition à d'autres polluants toxiques présents dans les fumées.

Il a donc été décidé de mener des investigations complémentaires afin de vérifier que le personnel travaillant sur l'AFG et les stagiaires n'étaient pas soumis à une exposition aiguë ou chronique au monoxyde de carbone. Ce danger écarté, ces données ont été analysées pour décrire la cinétique des mesures de SpCO du personnel travaillant sur l'aire à feu et ainsi optimiser la prise en charge médicale ultérieure des suspicions d'intoxication.

1 Rappels physiopathologiques

1.1 L'exposition au CO et la synthèse de la méthémoglobine

L'exposition au monoxyde de carbone se fait selon deux voies : la voie endogène et l'intoxication par inhalation (3). Son élimination se fait quasi exclusivement dans l'air expiré (3,4). La production endogène est due à la décomposition enzymatique de l'hème. Cette enzyme est activée lors d'un stress et du repas (5). Le taux de production de ce CO endogène dépend du poids corporel (6), est stable (7) et est inférieur

Published in : Service de santé des armées, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.1*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005410, doi : 10.17184/eac.9782813005410

à 1 % de l'hémoglobine totale sous forme de carboxyhémoglobine (HbCO) (8,9). L'exposition au CO exogène est liée à l'environnement (zone urbaine qui serait responsable d'un taux d'HbCO de 1 à 2 % (9) ; incendie), au milieu professionnel (utilisation de moteurs à combustion en milieu fermé essentiellement ; incendies pour les pompiers) et au tabagisme. Plusieurs facteurs entrent en jeu et modulent l'HbCO (3,8-10) : la variabilité inter et intra individuelle, le sexe (élimination plus lente chez les hommes), l'activité physique et le stress. Ces derniers facteurs augmentent l'inhalation du CO par l'hyperventilation. Une charge de travail de 100 W couplée à une inhalation de CO de 15 min augmente le taux d'HbCO de 2,23 % à 7,6 % (9). Sa grande affinité pour l'hémoglobine et la myoglobine cardiaque explique qu'une faible concentration de CO peut entraîner des taux élevés de carboxyhémoglobine (11).

La méthémoglobine (HbMet) est de l'hémoglobine dans laquelle le fer oxydé passe de l'état ferreux à ferrique (12,13). Elle diminue la capacité de transport de l'oxygène dans le sang et potentialise les effets de l'HbCO (2). Son taux résiduel est de 0,5 à 1 % au cours du métabolisme normal. Des taux légèrement supérieurs peuvent être observés chez les fumeurs. Les symptômes apparaissent à partir de 10 % d'HbMet avec une cyanose. Outre les pathologies liées à l'hème, elle est liée à une intoxication par agents oxydants (13) : médicaments dont le paracétamol, composés chimiques dont les phénols, hydrazines, aniline et nitrobenzène ou aux agents oxydants (chlorates, nitrites et nitrates), substances psychoactives (poppers, cocaïne et protoxyde d'azote), aliments riches en nitrites et nitrates (betterave, chou, laitue et charcuteries). L'alcool augmente également l'oxydation de l'hémoglobine en HbMet.

1.2 Mesures de la SpCO et SpMet

Les mesures transcutanées de la SpCO et de la SpMet permettent une mesure rapide et simple et ont une précision de 2,5 % entre HbCO et SpCO et 0,7 % entre HbMet et SpMet (14). La corrélation entre saturation pulsée et prise de sang est bonne pour la majorité des auteurs (15-17). La SpCO a toute sa place dans la prise en charge en urgence car la diminution *in vitro* de l'HbCO est de 15 % en une heure et 40 % en 3 h (7). La méthémoglobine est très instable et sa mesure, pour être exacte, ne doit souffrir d'aucun délai (2). Le risque de sous-estimation de l'intoxication est donc important.

2 Matériels et méthodes

2.1 Population

Les personnes testées sur l'aire à feu sont instructeurs ou stagiaires et sont tous militaires d'active, volontaires et sains. Deux types de feux sont traités sur l'aire à feux à gaz de Cazaux : feux sur avion de transport (SFL : Simulateur de feux localisés) et feux sur avion de chasse (SCR : Simulateur carburant répandu) (figure 1).

Sur SFL (figure 2), les stagiaires à la manœuvre dits « manœuvrants », interviennent principalement sur des feux à l'intérieur de l'avion avec leur instructeur. Stagiaires et instructeurs portent donc un appareil respiratoire isolant (ARI). Les stagiaires « spectateurs » sont à distance.

Published in : Service de santé des armées, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.1*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005410, doi : 10.17184/eac.9782813005410

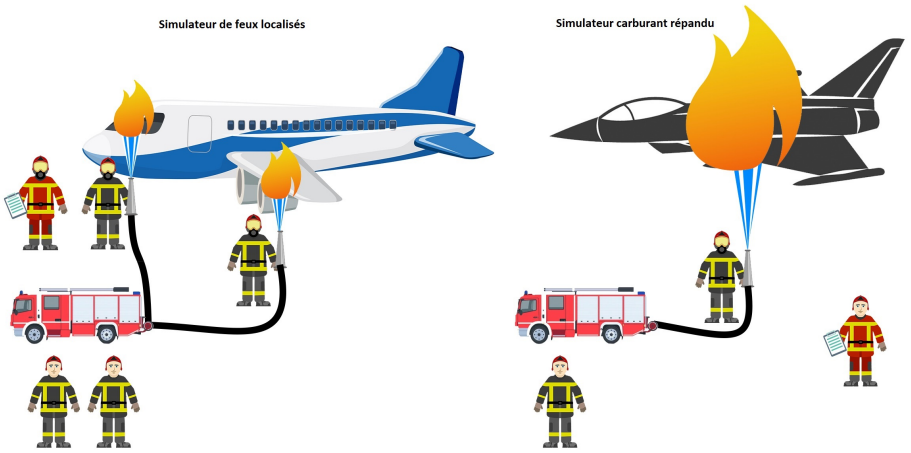


FIG. 1 : Schéma descriptif d'un simulateur de feux localisés et d'un simulateur carburant répandu. On y distingue instructeurs (en rouge) et stagiaires (en noir). Le port de l'appareil respiratoire isolant dépend de la distance au feu et non de la fonction.



FIG. 2 : Simulateur de feux localisés. Les stagiaires « manœuvrants » s'approchent du feu, voire entrent dans la cabine, encadrés par un instructeur. À distance de sécurité, les stagiaires « spectateurs » en arrière-plan observent la scène. ©Pierre-Élie.Edime/Armée de l'Air et de l'Espace

Sur SCR (figure 3), les stagiaires en ARI interviennent sur un avion en feu (figure 4), supervisés par un instructeur en retrait sans ARI. Plus loin, à distance de sécurité, les spectateurs observent l'intervention.

Trois catégories de personnels ont été testées :

- les stagiaires spectateurs des feux SCR (exposition plus importante que celle des stagiaires spectateurs sur le SFL) ;
- les stagiaires manœuvrants sur les feux SFL (moins d'exposition des stagiaires intervenant sur les feux SCR qui sont à l'air libre) ;
- les instructeurs considérés comme « manœuvrants sans ARI » sur le SCR (ils se tiennent entre les spectateurs et les manœuvrants et peuvent être amenés à se rapprocher du feu) et les instructeurs avec ARI considérés comme « manœuvrants » sur le SFL.

Published in : Service de santé des armées, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.1*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005410, doi : 10.17184/eac.9782813005410

La distinction entre stagiaires et instructeurs a été menée pour vérifier l'hypothèse d'une mauvaise utilisation de l'équipement et parce que le stress et l'effort réalisé durant la manœuvre sont différents.



FIG. 3 : Simulateur carburant répandu. Les stagiaires « manœuvrants » s'approchent du feu en camion puis à pied, supervisés par un instructeur. À distance de sécurité, les stagiaires « spectateurs » observent la scène. ©Pierre-Élie.Edime/Armée de l'Air et de l'Espace



FIG. 4 : Appareil respiratoire isolant porté par les pompiers de l'Armée de l'Air et de l'Espace. ©Pierre-Élie.Edime/Armée de l'Air et de l'Espace

2.2 Matériels

Au décours d'une suspicion d'intoxication au CO, des mesures immédiates ont été menées pour vérifier l'exposition professionnelle et l'absence de dangerosité des interventions sur feu simulé. Nous avons récupéré rétrospectivement ces données anonymes qui regroupent le questionnaire et les mesures. Les données ont été recueillies entre mai et juillet 2017 et analysées rétrospectivement pour l'étude en octobre 2017.
Une mesure correspond à un résultat de SpCO et SpMet avant exposition, puis après exposition.

2.2.1 Le questionnaire

Il comporte les données personnelles (sexe, âge, port de la barbe, exposition tabagique) ainsi que pour chaque série de mesure, l'heure de la dernière cigarette pour les fumeurs, les horaires de mesures avant l'exposition au feu et juste après et la durée

Published in : Service de santé des armées, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.1*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005410, doi : 10.17184/eac.9782813005410

de l'intervention. Les facteurs pouvant entrer en compte tels que le vent (présence, force, direction) et la durée de l'intervention (qui comprend : réception de l'alerte, trajet, mise en place du dispositif, intervention sur feu, sécurisation des lieux, fin de l'exercice) ont été recueillis prospectivement. Le feu en lui-même ne durait pas plus de trois minutes.

La production de CO endogène pouvant être liée au repas, le personnel testé en début d'après-midi était considéré en post prandial contrairement à ceux passant en fin de matinée.

2.2.2 Le CO oxymètre Rad-57®

Le taux sanguin de CO et la méthémoglobinémie ont été mesurés grâce au CO oxymètre de pouls Rad-57® (mesure du taux de concentration en CO et méthémoglobine dans le sang artériel par spectrophotométrie : SpCO et SpMet). L'index de perfusion devait être supérieur à 1 pour que la mesure soit valide. Nous avons considéré comme normales une SpCO inférieure à 3 % pour un non-fumeur et à 6 % pour un fumeur et une SpMet inférieure à 1 % (1,8). Le seuil de précision des mesures était de 2 %. Le même appareil a été utilisé pour toutes les mesures ; il est vérifié annuellement par l'établissement central du matériel du SSA.

2.2.3 Le protocole

Chaque intervention se déroule de la même façon : déclenchement des pompiers qui montent dans leur camion pour se rendre sur le lieu du feu (SCR ou SFL à 100 m), intervention sur le feu et sécurisation.

Pour évaluer l'exposition aiguë, les mesures SpCO et SpMet ont été réalisées avant et après exposition par un instructeur dédié à cette fonction et formé préalablement. Pour les manœuvrants (avec ou sans ARI), les mesures avant exposition ont été faites juste avant que les stagiaires ne montent dans le camion et celles après exposition dès que l'intervention prenait fin au pied du simulateur. Pour les spectateurs, elles ont été faites avant le début de l'exercice et juste à la fin de celui-ci. Un seul groupe à la fois était testé.

Les différents tests statistiques de comparaison de moyenne et corrélation ont été réalisés avec le logiciel SPHINX®.

Cette étude sur données préexistantes a reçu l'avis favorable du comité de recherche et d'innovation ainsi que l'autorisation CNIL sur les données. Tous les participants ayant contribué à cette étude ont été informés de la réutilisation de leurs données et de leurs droits.

Published in : Service de santé des armées, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.1*, Editions des archives contemporaines,
ISBN : 9782813005410, doi : 10.17184/eac.9782813005410

3 Résultats

3.1 Données générales

Deux cent soixante-quatorze mesures avant et 274 mesures après une simulation de feu ont été réalisées pour l'évaluation du risque d'intoxication monocarbonée aiguë sur l'aire à feu chez les servants, équipés ou non d'ARI. Quatre-vingt-dix pompiers étaient concernés : 15 étaient des instructeurs (228 mesures, soit environ 15 par instructeur) et 75 des stagiaires (320 mesures, soit environ quatre à cinq par stagiaire).

Les données sociodémographiques de la population étudiée sont décrites dans le tableau 1.

Les pompiers ne rapportent aucun symptôme clinique durant la campagne de mesures.

Tab. 1 : Données sociodémographiques de la population pompier étudiée

Variables		Moyenne (écart-type)	Min-Max	Proportion
âge		28,24 ans (7,75)	18-45	
sexe	homme			92,60 %
	femme			7,40 %
barbe	oui			42,50 %
	non			57,50 %
fumeur	oui			61,70 %
	non			38,30 %
nombre de cigarettes/jour		10,48 (5,70)	2-20	
délai entre la dernière cigarette et les mesures		58,65 min (77,51)	0-600	
fonction	stagiaire			60,60 %
	instructeur			39,40 %
statut	manœuvrant			31,40 %
	spectateur			28,30 %
	manœuvrant sans ARI			35,20 %
type de feu	SCR			66,90 %
	SFL			33,10 %
type de manœuvre	à l'intérieur de l'avion			72,50 %
	à l'extérieur			27,50 %
durée de l'intervention		15,01 min (8,79)	3-40	

Notes. SCR : Simulateur carburant répandu ; SFL : Simulateur feux localisés ; ARI : Appareil respiratoire isolant

Les résultats sont reportés sur les figures 5 et 6. Avant l'exposition au feu, les valeurs de SpCO sont majoritairement basses : environ 93 % des mesures de SpCO sont inférieures à 3 %. La moyenne des mesures est de $0{,}55\,\% \pm 1{,}13$ [0-6]. Après exposition au feu, la moyenne des mesures est de $0{,}33\,\% \pm 0{,}86$ [0-5]. Cette diminution de SpCO est très significative ($p < 0{,}001$). Sur les 274 mesures de SpMet avant le feu, seules 62 % des mesures sont inférieures au seuil de significativité (1 %). La moyenne est de $0{,}81\,\% \pm 0{,}51$ [0-2,7]. Après le feu, la SpMet moyenne est globalement augmentée. La moyenne est de $0{,}93\,\% \pm 0{,}53$ [0-2,8]. Cette augmentation de SpMet est très significative ($p = 0{,}003$).

Published in : Service de santé des armées, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.1*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005410, doi : 10.17184/eac.9782813005410

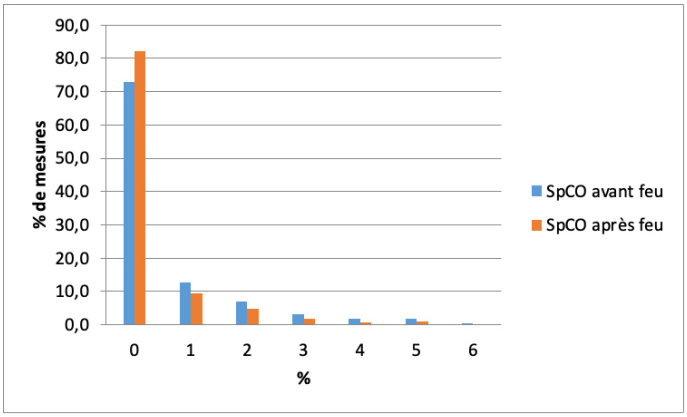


FIG. 5 : Distribution des mesures de saturation pulsée en monoxyde de carbone chez les pompiers de l'aire à feu avant ($n = 274$) et après exposition au feu ($n = 274$)

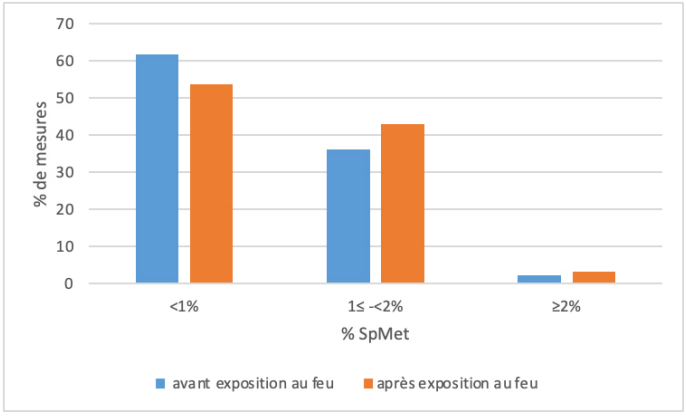


FIG. 6 : Distribution des mesures de la saturation pulsée en méthémoglobine chez les pompiers de l'aire à feu avant ($n = 274$) et après exposition au feu ($n = 274$)

3.2 Paramètres de l'intervention sur feu

Les différents paramètres significatifs de l'intervention sont résumés dans le tableau 2.

3.2.1 Type de feu et d'intervention

Sur le SFL comme prévu dans le protocole, 100 % des pompiers testés étaient des manœuvrants ; 78,5 % des pompiers ont pénétré à l'intérieur de l'avion (feu de plafond 15,9 % ; bagages à main 3,8 % ; cockpit 3,4 % et feu de sièges 1,4 %). Les mesures de SpCO et SpMet ne diffèrent pas significativement en fonction du type de feu (intérieur ou extérieur) ainsi que des différentes manœuvres internes.

La diminution de la SpCO avant et après l'intervention est significativement plus grande lors des manœuvres externes que lors des manœuvres internes (1,08 *vs* 0,44 ; $p = 0{,}034$).

Published in : Service de santé des armées, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.1*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005410, doi : 10.17184/eac.9782813005410

Tab. 2 : Différence des mesures de SpCO et SpMet avant et après exposition au feu en fonction des paramètres de l'intervention. *Un chiffre positif signe une diminution au cours de l'intervention*

		Moyenne (écart-type)	Min ; Max	Significativité
% SpCO				
type de feu	SCR	0,03 (0,88)	-4 ; 4	$p < 0,001$
	SFL	0,62 (1,31)	-1 ; 6	
type de manœuvre	en extérieur	1,08 (1,89)	-1 ; 6	$p = 0,034$
	à l'intérieur	0,44 (0,96)	-1 ; 4	
statut	manœuvrant sans ARI	-0,03 (0,79)	-4 ; 2	$p < 0,001$
	manœuvrant	0,62 (1,31)	-1 ; 6	
	spectateur	0,10 (0,98)	-3 ; 4	
fonction	instructeur	-0,02 (0,76)	-4 ; 2	$p < 0,001$
	stagiaire	0,36 (1,18)	-3 ; 6	
% SpMet				
type de feu	SCR	-0,01 (0,56)	-1,6 ; 1,90	$p < 0,001$
	SFL	-0,35 (0,63)	-1,3 ; 1,90	
statut	manœuvrant	-0,35 (0,63)	1,8 ; 1,1	$p < 0,001$
	spectateur	0,10 (0,57)	-1,3 ; 1,9	
	manœuvrant sans ARI	-0,11 (0,53)	-1,6 ; 1,10	

Notes. SCR : Simulateur carburant répandu ; SFL : Simulateur feux localisés ; ARI : Appareil respiratoire isolant

Lors des feux sur SCR, 45,1 % des pompiers testés étaient spectateurs et 54,9 % manœuvrants sans ARI. Les stagiaires manœuvrants sous ARI n'ont pas été testés.

La durée moyenne des interventions était de 15,10 min ± 8,79 [3-40]. 15,6 % duraient moins de 10 min, 49,8 % entre 10 et 19 min et 34,5 % entre 20 et 40 min. Il n'y a pas de relation significative avec les taux de SpCO et SpMet.

3.2.2 Manœuvrants et spectateurs

Les manœuvrants sans ARI (12 instructeurs, 120 mesures) ont une SpCO plus basse ($p = 0,01$) et une SpMet plus élevée que les spectateurs ($p = 0,028$). L'augmentation de la SpCO après feu n'est pas significative contrairement à celle de la SpMet après feu qui est significative pour les SpMet > 1 % ($p = 0,015$).

Chez les 91 manœuvrants, l'évolution de la SpCO et la SpMet avant et après le feu est la plus importante ($p < 0,001$). La diminution de la SpCO après feu est très significative (pas de SpCO > 3 % après le feu, moyenne de 0,76 % contre 0,14 % ; $p < 0,001$). L'augmentation de la SpMet n'est pas significative (0,79 % contre 1,14 %, ns).

Chez les 82 spectateurs, la SpCO moyenne après feu est la plus élevée et la SpMet la plus faible ($p < 0,001$). On note une diminution significative après le feu de la SpCO (0,71 % en moyenne *vs* 0,62 % ; $r = +0,67$) ainsi que de la SpMet (0,83 % en moyenne contre 0,74 %, très significatif pour les SpMet > 1 %, $p < 0,001$)).

Published in : Service de santé des armées, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.1*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005410, doi : 10.17184/eac.9782813005410

3.2.3 Instructeurs et stagiaires

Les instructeurs ont une SpCO moyenne avant feu très significativement plus faible que les stagiaires ($p < 0{,}001$). Cette différence se trouve dans le groupe fumeurs comme celui des non-fumeurs. Les SpCO < 3 % concernent 12 stagiaires contre aucun instructeur ($p < 0{,}001$). Après le feu, cette différence n'est plus statistiquement significative. Ils sont environ autant de fumeurs que chez les stagiaires (58,8 % *vs* 63,4 %, ns) mais fument significativement moins de cigarettes que ces derniers (5,70 cigarettes par jour en moyenne contre 13,11 ; $p < 0{,}001$).

Il n'y a pas de différence significative concernant la SpMet avant ou après le feu.

3.3 Tabac et autres facteurs

Les fumeurs ont une SpCO moyenne de 0,72 % avant exposition au feu contre 0,28 % chez les non-fumeurs ($p = 0{,}002$). Après exposition, les fumeurs ont une SpCO plus élevée que les non-fumeurs (moyenne de 0,49 % contre 0,06 %, $p < 0{,}001$). En revanche, pour la SpMet, il n'existe pas de différence significative entre fumeurs et non-fumeurs avant et après exposition. La consommation de tabac était de moins de 10 cigarettes par jour pour 37,7 % des fumeurs, entre 10 et 19 cigarettes pour 46,9 % et d'un paquet par jour (20 cigarettes) pour 15,4 % d'entre eux. Le nombre de cigarettes est relié à la SpCO surtout pour des consommations à plus de 20 cigarettes par jour.
Le délai moyen entre la dernière cigarette et la prise de mesure était de 58,65 min ± 77,51 [0-600]. Celui-ci était de moins de 10 min pour 15,8 % des fumeurs, moins de 30 min pour 25,7 %, et moins d'une heure pour 25,7 %. Le délai entre la cigarette et la mesure de SpCO ou de SpMet n'est pas un facteur statistiquement significatif.

Le port de la barbe, l'âge et le sexe ne modifient significativement pas la SpCO et la SpMet.

L'heure de prise des mesures influence très significativement les mesures de SpCO et SpMet avant exposition au feu. En début d'après-midi en post prandial, les SpCO moyennes sont de 0,79 % contre 0,39 % le matin ($p = 0{,}004$). Les SpMet sont de 0,88 % contre 0,75 % ($p = 0{,}043$).

Le vent était présent pendant 79 % des entraînements sur simulateurs avec une force moyenne de 5,75kt ± 4,38 [0-15]. Sa direction était de 180°dans 29,9 % des cas, entre 180°et 270°dans 29,4 % des cas et entre 270°et 360°dans 42,1 %. Sa présence augmente significativement la SpCO mais dans des valeurs moyennes très faibles en dessous du seuil de positivité (moyenne de 0,46 % *vs* 0,14 % ; $p = 0{,}039$) et diminue significativement la SpMet (moyenne de 0,90 % *vs* 1,09 % ; $p = 0{,}029$). La force et la direction du vent n'ont pas d'impact significatif.

4 Discussion

L'implication des pompiers de l'aire à feu à gaz a permis la réalisation de 548 mesures au plus près de la réalité de terrain. Durant l'étude, aucun pompier ne s'est plaint de symptôme.

Toutes les mesures de SpCO sont considérées comme normales au regard des normes actuelles d'HbCO (3 % chez un non-fumeur et 6 % chez un fumeur) sauf pour 3,8 % de

Published in : Service de santé des armées, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.1*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005410, doi : 10.17184/eac.9782813005410

non-fumeurs qui ont eu une mesure avant exposition entre 3 et 5 % soit une dizaine de personnes.

L'étude n'a pas retrouvé d'augmentation de SpCO après exposition au feu chez les pompiers barbus : l'hypothèse du manque d'étanchéité du masque à cause du port de la barbe n'est pas vérifiée. Il est possible que les consignes de sécurité, en particulier de vérification d'étanchéité de l'ARI suite aux incidents, expliquent ces résultats. Sauf cas particuliers, spectateurs comme manœuvrants sans ARI ont des taux de SpCO < 3 % et qui diminuent après exposition. Dans les conditions normales d'exercice, il n'y a donc pas d'argument pour une intoxication au CO sur l'aire à feu après mise en œuvre des simulateurs.

Une hypothèse est tout de même avancée pour expliquer les symptômes et l'augmentation de la SpMet chez les manœuvrants et non chez les spectateurs : une intoxication par inhalation de substances volatiles. Après chaque utilisation, les ARI sont désinfectés avec des lingettes contenant du propanol et de l'ammonium. Ces derniers sont des précurseurs de la méthémoglobine et sont connus pour entraîner des troubles de l'équilibre et des troubles neurologiques (18). Dans le doute, les lingettes ont été changées pour un produit moins toxique et il a été recommandé de bien laisser sécher l'ARI avant de le réutiliser.

Après les interventions, les mesures de SpCO diminuent. Ceci peut être expliqué par une hyperventilation, liée au stress et à l'effort, qui élimine naturellement le CO de l'organisme. Ainsi, les stagiaires plus stressés ont une variation plus importante que les instructeurs, de même que les manœuvrants sur SFL sont plus actifs que les spectateurs. La durée de l'intervention n'a pas d'impact sur la SpCO des manœuvrants et des spectateurs, contrairement à la présence de vent qui est liée à une augmentation de la SpCO après le feu.

La SpCO varie avec le statut tabagique, dans la population globale comme dans tous les sous-groupes (surtout pour les fumeurs de plus d'un paquet par jour) mais à des taux moyens de moins de 2 %, loin des 6 à 10 % annoncés dans la littérature. Le délai entre la dernière cigarette fumée et la mesure de SpCO ne semble avoir aucun effet sur la SpCO, que l'on mesure celle-ci dix minutes ou une heure après. L'heure de mesure probablement liée au post prandial et à la production endogène de CO a un impact significatif avec des chiffres deux fois plus élevés en début d'après-midi.

La SpMet ne dépend ni du statut tabagique, de la barbe, de l'âge ou du sexe.
En revanche, elle augmente très significativement après un feu sauf chez les spectateurs où elle diminue. Il n'y a pas de différence entre stagiaires ou instructeurs, selon le type de feu, la durée de l'intervention, le statut tabagique, le port de la barbe ou en fonction de l'âge et du sexe. On retrouve une petite augmentation sur les mesures en début d'après-midi.

Toute la difficulté réside dans la détermination de normes où tous les auteurs ne s'accordent pas. Aucun effet toxique du CO n'a été retrouvé pour une HbCO $< 2{,}5$ à 2,9 % dans la population adulte saine (3). Cinq pour cent semble être généralement admise comme la valeur seuil d'apparition de symptômes à type de diminution de la capacité de travail et de la capacité neurocomportementale (vigilance, coordination œil main, réalisation de tâches) (8,19-21). Austin décrit dès 3 % une diminution de

Published in : Service de santé des armées, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.1*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005410, doi : 10.17184/eac.9782813005410

la capacité d'exercice de 5 à 7 % et dès 4 % une diminution de la performance dans la conduite des véhicules (22). Dans une population d'un service d'urgence, Oberlin *et al.* retrouvent une HbCO moyenne de 2,52 % (20), Suner *et al.* une SpCO moyenne de 3,6 % (15) et en 2011 Roth *et al.* (23) une SpCO moyenne de 3 % avec une HbCO de 0,9 % (délai de 38 min en moyenne entre les deux mesures). Il nous faut donc distinguer la valeur normale de Sp ou HbCO et le seuil de suspicion d'intoxication au CO.

Le tabac est une variable importante sur les valeurs de CO mais les résultats diffèrent selon les auteurs (tableau 3). Il n'y a pas de valeur seuil unanime pour différencier fumeur et non-fumeur. Pour l'AFSSET, un fumeur fume un à deux paquets de cigarettes par jour (3). Selon Ducluzeau *et al.* (8), une cigarette de six minutes expose à des taux de CO de 400 à 500 ppm, soit une HbCO de 3 à 8 %, voire 5 à 9 % pour Scarino *et al.* (9) (la consommation d'un paquet par jour produit des taux résiduels d'HbCO pouvant atteindre 6 %).

Quels que soient les auteurs, leurs chiffres sont plus élevés que ceux retrouvés dans notre étude, notre moyenne de SpCO étant < 1 % chez les fumeurs comme chez les non-fumeurs mais ils fumaient au maximum un paquet par jour. Seuls *Bertrand et al.* (24) ont des valeurs similaires chez les pilotes de chasse (SpCO moyenne de 0,23 % [0-3]).

Les chiffres concernant la SpMet sont quasi inexistants : Roth *et al.* (23) retrouvent un taux moyen de SpMet à 0,4 % dans un service d'urgence et Bertrand *et al.* (24) chez les pilotes de chasse avec un taux moyen de 0,30 % [0-0,9], soit des chiffres bien inférieurs à nos pompiers qui ont des mesures jusqu'à 2,8 % même si elles sont infracliniques.

À la lumière de l'incident initial, les HbCO douteuses des pompiers symptomatiques ne l'étaient donc pas tant que ça.

La principale limite de l'étude, hormis son caractère rétrospectif, est le Rad-57® lui-même. C'est un appareil pratique mais qui a pour fonction le dépistage des intoxications au CO et non leur diagnostic (25), la grande difficulté de l'HbCO étant le délai entre l'intoxication et le mesure en laboratoire (7). Avec une précision de 3 % pour le CO et 1 % pour la SpMet (14), nos données reflètent assez justement le niveau d'exposition des pompiers lors de ces entraînements.

Conclusion

Finalement, les normes usuelles d'intoxication au CO en France (HbCO $\geq$ 3 % pour le non-fumeur et 6 pour le fumeur) sont loin de faire l'unanimité. Les valeurs maximales d'exposition considèrent que les effets sont observés dès 2 % d'HbCO. Nos résultats parmi les pompiers vont également dans ce sens : les non-fumeurs et ceux à moins d'un paquet par jour sont habituellement en-dessous des 3 % de SpCO avant exposition au feu. Après exposition, leurs taux de SpCO diminuent. Pour ces pompiers qui œuvrent sous ARI dans des conditions de stress et d'effort ventilatoire, nous pouvons estimer que la valeur de SpCO seuil, au-delà de laquelle on doit suspecter une intoxication au CO, doit être abaissée. Il nous semble pertinent, vu l'environnement de l'aire à feu, de considérer comme potentiellement intoxiqué un pompier présentant des symptômes et une SpCO supérieure ou égale à 3 % quel que soit son statut tabagique.

Published in : Service de santé des armées, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.1*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005410, doi : 10.17184/eac.9782813005410

Concernant la SpMet, elle augmente à des valeurs faibles mais au-delà de la normale après exposition au feu sous ARI alors qu'elle devrait suivre la même cinétique que le CO. Il est possible que les pompiers inhalent des substances qui sont les précurseurs de la méthémoglobine lorsqu'ils remettent l'ARI après un nettoyage rapide à la lingette désinfectante, car cette augmentation de SpMet ne concerne pas les spectateurs. Cela peut entraîner des symptômes, mais il faut garder à l'esprit que la SpMet, sans être toxique aux valeurs relevées, potentialise les effets de l'intoxication au CO.
En conséquence, il est recommandé de nettoyer et laisser sécher à l'air libre les ARI au moins 30 minutes avant de les porter.

Tab. 3 : Valeurs de CO en fonction du statut tabagique : normes et seuils d'intoxication dans la littérature entre 2007 et 2018

	Auteurs : contexte	Fumeurs (moyenne %)	Non-fumeurs (moyenne %)
Valeurs de référence			
HbCO	AFSSET 2007 (3) : référence	3 à 8	0,4 à 1,5
	Underner 2010 (10) : tabacologie	6,3	< 1
SpCO	Hampson 2006 (26) : joueurs de bingo	4,9	2,2
	Suner 2008 (15) : SAU	5,2	2,9
	Libert 2012 (27) : visites de médecine générale	4,63	2,32
	George 2015 (28) : population générale	Avant la cigarette 2,66 Durant la cigarette 2,6 Après la cigarette 3,09	-
Intoxication au CO			
HbCO	Oberlin 2013 (20)	6 % si signes fonctionnels 10 % si pas de signe	3 % si signes fonctionnels 6 % si pas de signe
SpCO	Maurin 2016 (1)	9	6
	Aulakh 2018 (18)	10	3
	Libert 2012 (27)	10	5
	George 2015 (28)	> 5	

Remerciements

Rermerciements au linguiste relecteur Monsieur Fayolle-Fonseca, à la section enseignement de la langue anglaise de la base aérienne 118, à l'infographiste de l'Escadron de conception audiovisuelle et multimédia (ECAM) au profit des expérimentations et au Centre de formation des techniciens de la sécurité de l'armée de l'air et de l'espace (CFTSAAE).

Published in : Service de santé des armées, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.1*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005410, doi : 10.17184/eac.9782813005410

Références bibliographiques

1. Maurin O, Lapostolle F, Ballivet de Regloix S, Lambert Y, Tourtier JP. Inhalations de fumées. Médecine d'urgence. 2016 ;11(4) :1-10. doi : 10.1016/S1241-8234(17)85403-1

2. Baud F. Intoxications par les fumées d'incendie. Pathologie professionnelle et de l'environnement. 2008 ;3(1) :1-14. doi : 10.1016/S1155-1925(08)44576-7

3. AFSSET. Valeurs guides de qualité de l'air intérieur : le monoxyde de carbone, avis de l'AFSSET, rapport du groupe d'expert. Maisons-Alfort : AFSSET ; 2007. Rapport no : auto-saisine 2004.

4. Aboab J, Hullin T, Annane D. Intoxications oxycarbonées. Encyclopédie médico-chirurgicale – Pathologie professionnelle et de l'environnement. 2015 ;10(4) :1-8. doi : 10.1016/S1877-7856(15)52231-9

5. Berdeaux A, Motterlini R, Foresti R. Le monoxyde de carbone : un gaz endogène qui vous veut du bien. L'observatoire. 2012 ;21 :1-4.

6. Gosselin N, Bouchard M. Modélisation toxicocinétique de l'exposition au CO chez les groupes vulnérables. Communication au : Contrôle du monoxyde de carbone dans les établissements de soins prolongées et hôpitaux. 2013 ; Saskatoon, Canada.

7. Malbosc R. Intoxication aiguë et chronique par le monoxyde de carbone : aspect analytique et interprétation des oxycarbonémies. Revue française des laboratoires. 2000 ;323 :19-25.

8. Ducluzeau R, Delafosse B. Intoxication au monoxyde de carbone. EMC-Médecine d'urgence. 2013 ; 8(3) :1-14.

9. Scarino A, Tardif R. Études et recherches : modélisation de l'exposition au monoxyde de carbone. Montréal : Institut de recherche Robert-Saucé en santé et en sécurité du travail. 2005. Rapport no :R 433.

10. Underner M, Peiffer G. Interprétation des valeurs du CO expiré en tabacologie. Revue des maladies respiratoires. 2010 ;27 :293-300. doi :10.1016/j.rmr.2009.09.004

11. Pateron D, Trinh-Duc A. Intoxication au monoxyde de carbone et aux fumées. In : méga-guide pratique des urgences. Issy les Moulineaux : Elsevier Masson. 2016.

12. Cannon DJ. Methemoglobin. Therapeutic drug monitoring (AACC). 1991 ;13 :3-4.

13. Tarrega E. Les méthémoglobinémies, retour d'expérience du centre d'antipoison et de toxicovigilance de Marseille [thèse]. Marseille : Université d'Aix-Marseille. 2023. dumas-04216713.

14. Zaouter C, Zavorsky G. The measurement of carboxyhemoglobin and methemoglobin using a non invasive pulse co-oxymeter. Respiratory physiology & neurobiology. 2012 ;182 :88-92. doi : 10.1016/j.resp. 2012.05.010

15. Suner S, Patridge R, Sucov A, Valente J, Chu K, Hughes A *et al.* Non-invasive pulse CO-oximetry screening in the emergency department identifies occult carbon monoxide toxicity. The journal of emergency medicine. 2008 ;34(4) :441-50. doi. :10.1016/j.jemermed.2007.12.004

16. Thery R, Bouveroux D, Richard JP, Rubenovitch J, Giraud I, Dumont R, *et al.* Intérêt de la mesure transcutanée du monoxyde de carbone en tri médical. Journal européen des urgences. 2008 ;21(51) :53-4.

17. O'Reilly M. Performance of the Rad-57 pulse CO oximeter compared with standard laboratory carboxyhemoglobin measurement. Annals of emergency medicine. 2010 ;56(4) :442-3. doi :10.1016/j.annemergmed.2010.08.016

18. Aulakh SK. Carbon monoxide poisoning. In : Ferri F ed. Ferri's clinical advisor. Philadelphia : Elsevier. 2018 ;238-9.

19. ANSES. Valeurs limites d'exposition en milieu professionnel. Application aux substances déjà expertisées par le CES VLEP du document méthodologique pour prévenir les effets de la coexposition professionnelle au bruit et substances chimiques. Avis de l'ANSES, rapport d'expertise collective. Maisons-Alfort : ANSES. 2015.

20. Oberlin M, Debreux T. Les intoxications occultes au monoxyde de carbone. Dépistage dans un service d'urgence parmi les patients nécessitant un prélèvement biologique. Journal européen des urgences et de réanimation. 2013 ;25 :59-62. doi :10.1016/j.jeurea.2013.03.002

Published in : Service de santé des armées, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.1*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005410, doi : 10.17184/eac.9782813005410

21. Richard C, Alary R, Delaunay C, Leprince A. Intoxications oxycarbonées professionnelles : résultats d'une enquête. INRS, documents pour le médecin du travail. 2005 ;102 :191-213.

22. Austin C. Etudes et recherches : risques pour la santé des pompiers forestiers et protections respiratoires. Montréal : Institut de recherche Robert-Saucé en santé et en sécurité du travail. 2008. Rapport R-571.

23. Roth D, Herkner H, Schreiber W, Hubmann N, Gamper G, Laggner AN, *et al.* Accuracy of non invasive multiwave pulse oximeters compared with carboxyhemoglobin from blood gas analysis in unselected emergency department patients. Annals of emergency medicine. 2011 ;58(1) :74-9. doi : 10.1016/j.annemergmed.2010.12.024

24. Bertrand L, Wairy M, Boissin J, Gros L. Evaluation de l'impact du vol sur la saturation pulsée en monoxyde de carbone par le CO-oxymètre RAD-57™ sur la base aérienne 113. Médecine aéronautique et spatiale. 2015 ;56(212) :144-50.

25. Touger M, Birnbaum A, Wang J, Chou K, Pearson D, Bijur P. Performance of the RAD-57 pulse CO-oximeter compared with standard laboratory carboxyhemoglobin measurement. Ann Emerg Med. 2010 ;56(4) :382-8. doi : 10.1016/j.annemergmed.2010.03.041

26. Hampson NB, Scott KL. Use of a non invasive pulse CO oximeter to measure blood carboxyhemoglobin levels in bingo players. Respir Care. 2006 ;51(7) :758-60. Corpus ID : 11598153.

27. Libert A. Evaluation d'un matériel de dépistage de l'intoxication au monoxyde de carbone en médecine générale [Thèse de doctorat d'université, médecine générale]. Nancy : Université Henri Poincaré Faculté de médecine. 2012. hal-01734302.

28. George N, Yousif S, Suner S, Hack JB. Carbon monoxide levels induced by cigarette smoking outdoors in typical smokers. Annals of emergency medicine. 2015 ;66(45) :139. doi :10.1016/j.annemergmed.2015.07.420

Published in : Service de santé des armées, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.1*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005410, doi : 10.17184/eac.9782813005410