

# RECHERCHE ORIGINALE

## Efficacité de l'Hexafluorine pour la décontamination d'urgence des projections oculaires et cutanées d'acide fluorhydrique\*

**L Mathieu**

Laboratoire PREVOR, Valmondois, France

**J Nehles**

Mannesmann Hoesch Prazisrohr, GmbH, Remscheid, Germany

**J Blomet**

Laboratoire PREVOR, Valmondois, France

**AH Hall**

Texas Tech University Health Sciences Center - El Paso, Department of Emergency Medicine, Division of Toxicology; Toxicology Consulting and Medical Translating Services Inc, El Paso, TX

**RÉSUMÉ.** L'Hexafluorine est un composé polyvalent, amphotère et hypertonique, conçu pour la décontamination des projections oculaires et cutanées d'acide fluorhydrique (HF). De 1994 à 1998, dans une entreprise métallurgique allemande, toutes les projections oculaires ou cutanées d'HF à 40% ou d'un mélange d'HF à 6% avec de l' $\text{HNO}_3$  à 15% ont été décontaminées initialement avec de l'Hexafluorine dans les 2 minutes suivant l'accident par les victimes elles-mêmes ou par leurs collègues témoins de l'accident. Onze travailleurs utilisant de l'HF à 40% ou un mélange HF 6%/ $\text{HNO}_3$  15% ont été victimes de projections oculaires (2 cas) ou cutanées (10 cas) (dont un cas combiné). L'Hexafluorine a été utilisée dans les 2 minutes suivant l'accident et une deuxième décontamination à l'Hexafluorine a été effectuée à l'arrivée à l'infirmerie de l'usine. Aucun autre traitement médical ou chirurgical n'a été nécessaire, aucune brûlure chimique n'a été observée et aucun travailleur n'a eu d'arrêt de travail. Ces onze cas démontrent l'efficacité de l'Hexafluorine dans la décontamination des projections d'HF ou d'HF/ $\text{HNO}_3$ .

L'acide fluorhydrique (HF) est un acide corrosif et toxique dont les projections peuvent entraîner des séquelles physiques et psychologiques (1 à 3) et quelquefois la mort (4 à 9). Les lésions corrosives sont causées par la pénétration des ions  $\text{H}^+$  et  $\text{F}^-$  dans les tissus; la chélation du calcium entraîne une hypocalcémie systémique toxique (10, 11) et d'autres déséquilibres électrolytiques (hypomagnésémie, hyperkaliémie) peuvent se produire (12, 13). En raison des risques que présente l'HF et son utilisation est très répandue dans l'industrie (6), de nombreuses publications ont décrit divers traitements des brûlures par HF tant chez l'animal (14 à 23) que dans le cas d'une exposition humaine accidentelle (4,13,24).

L'Hexafluorine est un composé polyvalent, amphotère et hypertonique, développé spécialement pour la décontamination des projections oculaires et cutanées d'acide fluorhydrique. Les cas rapportés ici démontrent la capacité de l'Hexafluorine de décontaminer les projections oculaires ou cutanées

d'HF et d'éviter l'apparition de brûlures par HF et leurs séquelles.

### ÉTUDES DE CAS

#### Méthodes

Mannesmann est une entreprise métallurgique allemande dans laquelle de l'HF à 40% est dilué, puis mélangé avec de l'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) pour produire un mélange HF 6%/ $\text{HNO}_3$  15% pour le traitement de tube d'acier inoxydable utilisé dans l'industrie automobile pour la fabrication des tuyaux d'échappement de voitures de luxe. Les projections oculaires ou cutanées se produisent avec de l'HF à 40% ou pendant les opérations de maintenance.

En 1994, après avoir tenté de décontaminer les projections oculaires ou cutanées de mélange HF 6%/ $\text{HNO}_3$  15% par un lavage à l'eau suivi de l'application locale de gel de gluconate de calcium à 2,5% (projections cutanées seulement) sans succès complet, les services médicaux et hygiène et sécurité de Mannesmann décidaient de former les travailleurs aux dangers de ces substances chimiques et à l'utilisation de la décontamination par l'Hexafluorine et de divers appareils d'application installés sur le lieu de travail.

\* Présenté à la réunion annuelle de la Semiconductor Safety Association, Arlington, VA, 25-28 avril 2000.

La contribution à cet article pour sa traduction du français et son édition pour la publication en anglais a été apportée par le laboratoire PREVOR, Moulin de Verville, F95760, Valmondois

## Recherche originale

De 1994 à 1998, toutes les projections oculaires ou cutanées d'HF à 40% ou de mélange HF 6%/HNO<sub>3</sub> 15% ont été décontaminées initialement avec l'Hexafluorine dans les 2 minutes (30 à 120 secondes suivant la projection) par les victimes elles-mêmes ou leurs collègues témoins de l'accident. Avant la décontamination, les victimes de projections cutanées ont été déshabillées.

La quantité d'Hexafluorine à utiliser dépend du temps de contact et de la surface corporelle touchée. Pour la décontamination initiale des projections oculaires, on a appliqué 500 ml d'Hexafluorine dans les 2 minutes (30 à 120 secondes) suivant l'exposition. Pour les projections cutanées, on a utilisé une douche autonome portable d'une capacité de 5 litres d'Hexafluorine pour décontaminer la totalité du corps du travailleur exposé dans les 2 minutes (30 à 120 secondes) suivant l'exposition. Dans chaque cas, une deuxième décontamination à l'Hexafluorine a été effectuée à l'arrivée du travailleur à l'infirmerie de l'usine, puis l'on a fourni au travailleur des vêtements de travail propres.

**Tableau 1.** Décontamination d'urgence des projections oculaires d'HF à 40% ou d'HF 6%/HNO<sub>3</sub> 15% avec l'Hexafluorine®

Nbre de cas	Exposition	Zone touchée	Décontamination initiale	2 <sup>e</sup> décontamination	Séquelles	Nécessité d'un autre traitement	Arrêt de travail
1	HF 40%	Œil	Hexafluorine®	Hexafluorine®	Néant	Néant	Néant
1	HF 6%/HNO <sub>3</sub> 15%	Œil	Hexafluorine®	Hexafluorine®	Néant	Néant	Néant

## Résultats

De 1994 à 1998, 11 travailleurs furent victimes de projections oculaires ou cutanées, dont 6 avec un mélange d'HF 6%/HNO<sub>3</sub> 15% et 5 avec de l'HF à 40%. Les travailleurs exposés étaient tous des hommes âgés de 35 ± 11 ans. L'un d'eux fut victime d'une projection oculaire et cutanée avec de l'HF à 40%, et un autre, de projections oculaires avec le mélange HF 6%/HNO<sub>3</sub> 15% (Tableau 1).

Les 10 projections cutanées touchaient une surface allant de 0,2% (1 doigt) à 16,5% de la surface corporelle totale (Tableau 2). Dans 6 cas, la surface corporelle touchée était égale ou supérieure à 4%. Dans un cas, les projections d'HF 6%/HNO<sub>3</sub> 15% ou d'HF à 40% touchaient plus de 10% de la surface corporelle totale (respectivement 10,5% et 16,5%). Les zones exposées comprenaient les mains, les extrémités supérieures ou inférieures, le visage, les yeux et le thorax.

Aucune brûlure chimique ni séquelle d'aucune sorte n'a été observée chez ces 11 travailleurs exposés. Aucun traitement médical ou chirurgical n'a été nécessaire après la décontamination par l'Hexafluorine et il n'y a eu aucun arrêt de travail.

## DISCUSSION

De nombreuses méthodes de décontamination et de traitement des brûlures cutanées par l'acide fluorhydrique sont décrites dans la littérature publiée (2, 5, 12, 26 à 29). Les projections d'HF concentré (40 à 70%, anhydre) produisent rapidement des lésions très douloureuses (30) qui réclament une action immédiate. Malgré une décontamination précoce à l'eau, suivie de l'application locale répétée ou de l'injection sous-cutanée de gluconate de calcium, il est souvent impossible d'empêcher l'apparition de brûlures. Le risque d'un développement de la toxicité systémique de l'HF (hypocalcémie, hypomagnésémie, hyperkaliémie et les dangers correspondants) est plus important avec des projections d'HF concentré touchant 2,5% ou plus de la surface corporelle totale qui peuvent quelquefois être fatales (4).

Des projections d'HF dilué ont été décontaminées avec succès par un lavage à l'eau, suivi de l'application locale de gel de gluconate de calcium. Dans de tels cas, la difficulté est de percevoir la nécessité de prendre de telles mesures immédiatement en l'absence de douleur, laquelle peut ne se manifester que 24 ou 48 heures après l'exposition (30 à 32). Le temps de contact de l'HF avec les tissus peut se prolonger et, bien que l'ion F<sup>-</sup> soit lié initialement à l'ion calcium du gluconate de calcium, il peut être libéré ultérieurement et déclencher une brûlure. Dans le cas de l'exposition cutanée à de l'HF dilué ou concentré, un débridement chirurgical, une excision ou même une amputation des zones nécrosées peut être nécessaire (33 à 36).

La durée relativement courte de cette étude (1994-1998) et l'utilisation de lunettes de protection font que seulement 2 cas de projections oculaires d'HF ont été inclus. Dans les deux cas, la décontamination rapide avec l'Hexafluorine a empêché les brûlures oculaires, l'une avec de l'HF concentrée, l'autre avec de l'HF dilué.

Dans les cas rapportés ici, un programme combiné de formation des travailleurs aux dangers de l'utilisation d'HF à 40% ou d'HF 6%/HNO<sub>3</sub> 15% et à l'utilisation d'Hexafluorine pour la décontamination d'urgence dans les 2 minutes suivant l'exposition oculaire ou cutanée a permis d'éviter l'apparition de brûlures chimiques et leurs séquelles. L'Hexafluorine a ainsi démontré son efficacité pour la

décontamination des projections oculaires ou cutanées d'HF concentré ou dilué sur le lieu de travail.

L'Hexafluorine est une solution de décontamination de l'HF qui agit par une combinaison de mécanismes physiques et chimiques. Elle est hypertonique et peut donc faire ressortir par le jeu des pressions osmotiques une partie de l'HF qui a pénétré dans les tissus. Ses propriétés amphotères lui permettent de se lier à la fois aux ions  $H^+$  et  $F^-$ , agissant à la fois contre l'acidité de l'HF et contre la toxicité tissulaire de l'ion  $F^-$  (37 à 39). *In vitro*, l'Hexafluorine a 100 fois plus d'affinité avec l'ion  $F^-$  que le gluconate de calcium (38).

Les différents traitements décrits dans la littérature médicale se concentrent sur le potentiel toxique de l'HF et reposent sur la chélation de l'ion  $F^-$ , en ignorant la contribution potentielle de l'ion hydrogène à l'apparition des brûlures. Le gluconate de calcium n'a qu'une action très faible sur l'acidité de l'HF, ce qui impose de nombreuses applications ou injections locales. Le traitement des projections d'HF par un lavage à l'eau, suivi de l'application de gluconate de calcium est répétitif, long et dépend quelquefois de la réapparition de la sensation de douleur, ce qui peut être inutilement inconfortable pour le patient (40, 41).

**Tableau 2.** Décontamination d'urgence des projections cutanées d'HF à 40% ou d'HF 6%/HNO<sub>3</sub> 15% avec l'Hexafluorine®

Nbre de cas	Exposition	Zone touchée (% de la surface corporelle totale)	Décontamination initiale	2 <sup>e</sup> décontamination	Séquelles	Nécessité d'un autre traitement	Arrêt de travail
5	HF 40%	0.2; 1; 4.5; 4.5; 16.5	Hexafluorine®	Hexafluorine®	Néant	Néant	Néant
5	HF 6%/HNO <sub>3</sub> 15%	0.2; 2.25; 4; 4.5; 10.5	Hexafluorine®	Hexafluorine®	Néant	Néant	Néant

En agissant sur les mécanismes toxiques de l'HF, l'Hexafluorine permet la décontamination rapide des projections, la prévention des brûlures et de leurs séquelles, le soulagement rapide de la douleur et évite la nécessité d'un traitement médical ou chirurgical complémentaire. Les résultats cliniques excellents des cas rapportés ici démontrent à la fois l'efficacité de l'Hexafluorine pour la décontamination des projections d'HF et l'intérêt d'un programme de formation des travailleurs aux dangers de l'HF et aux mesures de premiers secours (42). Lorsque les travailleurs connaissent bien les protocoles d'urgence concernant les projections d'HF, le temps de contact chimique peut être réduit sensiblement.

Les études *in vitro*, les expérimentations animales *in vivo* et les résultats de 5 cas de projections oculaires ou cutanées d'HF chez l'être humain rapportées antérieurement, ainsi que les 11 cas rapportés ici, démontrent que l'Hexafluorine est efficace pour la décontamination des projections d'HF (38, 39).

Lorsque les travailleurs ont été formés aux dangers des projections d'HF et à l'utilisation rapide d'un composé de décontamination, comme l'Hexafluorine qui neutralise la totalité des mécanismes toxiques de cet acide, il est possible d'éviter les brûlures oculaires ou cutanées et leurs séquelles, comme le montrent les cas présentés ici. L'intérêt particulier de l'Hexafluorine pour la décontamination d'urgence des projections oculaires ou cutanées d'HF est qu'à la différence des autres méthodes de décontamination, l'Hexafluorine peut empêcher l'apparition de brûlures et éviter la nécessité d'un traitement médical ou chirurgical complémentaire, une toxicité systémique grave, voire fatale, les séquelles et les arrêts de travail. L'Hexafluorine peut être utilisée rapidement et facilement par la victime ou par ses collègues sur le lieu de l'accident.

## RÉFÉRENCES

- Dayal HH, Baranowski T, Li YH et al: Hazardous chemicals: Psychological dimensions of the health sequelae of a community exposure in Texas. *J Epidemiol Comm Health* 48:560-568,1994.
- Beaudouin L, Le Trionnaire C, Nail JP: Accidents du travail dus à l'utilisation de l'acide fluorhydrique ou des fluorures alcalins en milieu acide *Arch Mal Prof* Juin 403-405, 1989
- Camarasa J: À propos de 3 brûlures cutanées graves dues à l'acide fluorhydrique *Arch Mal Prof* Avril:422-425, 1983
- Tepperman PB: Fatality due to acute systemic fluoride poisoning following an hydrofluoric acid skin burn. *J Occup Med* 22:691-692, 1980.
- Sheridan RL, Ryan CM, Quinby WC et al: Emergency management of major hydrofluoric acid exposures. *Burns*. 21:62-64, 1995.
- Kirkpatrick JJR, Enion DS. Burd DAR: Hydrofluoric acid burns: A review. *Burns* 21:483-493, 1995
- Chataigner D, Garnier R, Bonin C et al: Brûlures et intoxication systémique mortelle secondaires à une projection d'acide fluorhydrique *Arch Mal Prof* 53:3-29, 1992.
- Mullett L, Lee E, Genovese J et al: Fatality due to fluoride poisoning following dermal contact with hydrofluoric acid in a palynology laboratory *Ann Occup Hyg* 40:705-710, 1996.
- Chan KM, Svancarek WP, Creer M: Fatality due to acute hydrofluoric acid exposure. *Clin Toxicol* 24.333-339, 1987.
- Noonan T, Carter EJ, Edelman PA et al: Epidermal lipids and the natural history of hydrofluoric acid (HF) injury. *Burns* 20:202-206, 1994.

## Recherche originale

- 11 McCulley JP, Whitting DW, Pettitt MG et al: Hydrofluoric acid burns of the eye. *J Occup Med* 25:447-450, 1983.
12. Upfal M, Doyle C: Medical management of hydrofluoric acid exposure. *J Occup Med* 32:726-731, 1990.
13. El Saadi MS, Hall AH, Hall PK et al: Hydrofluoric acid dermal exposure. *Vet Human Toxicol* 31:243-247, 1989
14. Beiran I, Miller B, Bentur Y: The efficacy of calcium gluconate in ocular hydrofluoric acid burns. *Human Exp Toxicol* 16:223-228, 1997.
15. Dunn BJ, MacKinnon MA, Knowlden NF et al: Topical treatments for hydrofluoric acid dermal burns. *J Occup Environ Med* 38:507-514, 1996.
16. Boink ABTJ, Meulenbelt JAN: Systemic fluoride poisoning following dermal hydrofluoric acid exposure: Development of an intravenous sodium fluoride infusion model in rats. *J Toxicol-Cut Ocular Toxicol* 14:75-87, 1995.
17. St. Noordhoek L, Botens S, Mani MM: A study to determine the efficacy of treatments for hydrofluoric acid burns. *J Burn Care Rehabil* 16:253-257, 1995.
18. Cox RD, Osgood KA: Evaluation of intravenous magnesium sulfate for the treatment of hydrofluoric acid burns. *Clin Toxicol* 32:23-136, 1994.
19. Dowback G, Rose K, Rohrich RJ: A biochemical and histologic rationale for the treatment of hydrofluoric acid burns with calcium gluconate. *J Burn Care Rehabil* 15:323-327, 1994.
20. Burkhart KK, Brent J, Kirk MA et al: Comparison of topical magnesium and calcium treatment for dermal hydrofluoric acid burns. *Ann Emerg Med* 24:9-13, 1994
21. Kono K, Yoshida Y, Watanabe M, et al: An experimental study on the treatment of hydrofluoric acid burns. *Arch Environ Contain Toxicol* 22:414-418, 1992.
22. Bracken WM, Cuppage F, McLaury RL et al: Comparative effectiveness of topical treatments for hydrofluoric acid burns. *J Occup Med* 27:733-739, 1985.
23. Carney SA, Hall M, Lawrence JC et al: Rationale of the treatment of hydrofluoric acid burns. *Br J Ind Med* 31:317-321, 1974.
24. Rubinfeld RS, Silbert DI, Arentsen JJ et al: Ocular hydrofluoric acid burns. *Am J Ophthalmol* 114:420-423, 1992.
25. Matsuno K: The treatment of hydrofluoric acid burns. *Occup Med* 46:313-317, 1996.
26. Greco RJ, Hartford CE, Haith LR et al: Hydrofluoric acid-induced hypocalcemia. *J Trauma* 28: 1593-1596, 1988.
27. Trevino MA, Herrmann GH, Sprout WL: Treatment of severe hydrofluoric acid exposures. *J Occup Med* 25:861-863, 1983.
28. Browne TD: The treatment of hydrofluoric acid burns. *J Soc Occup Med* 24:80-89, 1974.
29. Wetherhold JM, Sheperd FP: Treatment of hydrofluoric acid burns. *J Occup Med* 7:193-195, 1965. '
30. Griffith FD: Hydrofluoric acid burn: Latent period was key factor. *Am Ind Hyg Assoc J* 48: 451-452, 1987
31. Saada V, Patarin M, Sans S et al: Nécroses cutanées à l'acide fluorhydrique *Ann Dermatol Venereol* 122:512-513, 1995.
32. Henry JA, Hila KK: Intravenous regional calcium gluconate perfusion for hydrofluoric acid burns. *Clin Toxicol* 30:203-207, 1992,
33. Chick LR, Borah G: Calcium carbonate gel therapy for hydrofluoric acid burn of the hand. *Plastic Reconstit Surg* 86:935-940, 1990.
34. Buckingham FM: Surgery: A radical approach to severe hydrofluoric acid burns. *J Occup Med* 30: 873-874, 1988.
35. Barbier F, Bonnet P, Julie R et al: Brûlures cutanées par acide fluorhydrique, À propos de 32 cas *Arch Mal Prof Avr*:400-402, 1987
36. Saada SA, Hall M, Lawrence JC et al: Rationale of the treatment of hydrofluoric acid burns. *Br J Ind Med* 31:317-321, 1974.
37. Burgher F, Blomet J, Mathieu L: Le Risque Chimique et la Santé au Travail: Essai de Toxicologie Réflexive Previor, Valmondois, France 610-616, 1996.
38. Josset P, Blomet J, Lym SK et al: Theoretical and experimental evaluation of decontamination measures for burns with hydrofluoric acid. Proprietary data of Laboratoire PREVOR, Valmondois, France, 1992.
39. Hall AH, Blomet J, Gross M et al: Hexafluorine for emergent decontamination of hydrofluoric acid eye/skin splashes. *Semiconductor Safety Assoc J* 14:30-33, 2000.
40. Lheureux P, Goldschmidt D, Hossey D, et al: Brûlures digitales par l'acide fluorhydrique *Rean Soins Intens Med Urg.* 7:227-230 1991.
41. White JW: Hydrofluoric acid burns. *Cutis.* 34:241-244 1984
42. Perrotte MC, Caubet A, Paysant F, et al: Acide fluorhydrique: Maitrise du risque a partir d'un exemple *Arch Mal Prof. Nov.* 541-543 1993.