HAL
open science

Fièvre des polymères après intoxication au fart fluoré : un rapport de trois cas avec revue de la littérature

Gilles Prudhon Chatelain

To cite this version:

Gilles Prudhon Chatelain. Fièvre des polymères après intoxication au fart fluoré : un rapport de trois cas avec revue de la littérature. Médecine humaine et pathologie. 2010. dumas-00623884

HAL Id: dumas-00623884

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00623884

Submitted on 15 Sep 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE JOSEPH FOURIER
FACULTE DE MEDECINE DE GRENOBLE

Année : 2010 N°

FIÈVRE DES POLYMÈRES APRÈS INTOXICATION AU FART FLUORÉ : UN RAPPORT DE TROIS CAS AVEC REVUE DE LA LITTERATURE

THESE
PRESENTEE POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MEDECINE

DIPLÔME D'ETAT

Par GILLES PRUDHON CHATELAIN

Né le 20 NOVEMBRE 1983 A MORGES

THESE SOUTENUE PUBLIQUEMENT A LA FACULTE DE MEDECINE DE GRENOBLE*

Le : 5 OCTOBRE 2010

DEVANT LE JURY COMPOSE DE

Président du jury :

M. le Professeur LEVY PATRICK

Membres :

Mme le Professeur MAÎTRE ANNE

Mme le Professeur STANKE FRANÇOISE

M. le Professeur CRACOWSKI JEAN-LUC

M. le Docteur LECOQ-JAMMES FRANÇOIS

La Faculté de Médecine de Grenoble n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions sont considérées comme propres à leurs auteurs.

Remerciements

à mon petit frère, Thibault,

à ma famille, qui m'a soutenu tout au long de la réalisation de cette thèse,
tout particulièrement ma maman,

à mon Directeur de thèse, le Dr François Lecoq, pour son soutien et son oeil bienveillant,
ses remarques pertinentes et son humanité,

au Dr Pierre Coudert pour son aide précieuse dans l'interprétation des radiographies,

au Dr Emmanuel Cauchy pour son soutien en tant que directeur de l'IFREMMONT,

aux amis qui m'ont épaulé ou qui m'ont prêté une main,

à mes re-lectrices, Marie et Mathilde,

à mon jury pour sa patience,

aux Dr Anne Favre-Juvin, Dr Marie-Philippe Rousseaux-Blanchi et Dr Nicolas Coulmy,
qui ont montré de l'intérêt pour mon travail et m'ont apporté leur aide,

au service de documentation de la BU Médecine de Grenoble,

à Mlle Nikita Krieg pour son soutien,

à l'arête des Cosmiques.

Tables des matières

Remerciements 2
Table des matières 3
Introduction 6
I - Cas Cliniques 7
I.1 Motif de consultation 7
I.2 Antécédents et facteurs de risque 7
I.2.a Antécédents 7
I.2.b Facteurs de risque 7
I.3 Histoire de la maladie 7
I.4 Examen clinique 8
I.5 Examens complémentaires 9
I.5.a Radiologiques 9
I.5.b Biologiques 12
I.6 Traitement 13
I.7 Diagnostic 13
I.8 Evolution 13
I.9 Suivi 13
II - La Fièvre des polymères 14
II.1 Pré-requis 14
II.1.a Le Polytétrafluoroéthylène et ses dérivés 14
II.1.b Produits de dégradation des PTFE 15
II.2.c Formation de particules de PTFE 15
II.2 Physiopathologie 15
II.2.a Mécanisme d'agression 15
II.2.a.i Action des radicaux libres 15
II.2.a.ii Transporteurs de gaz toxiques 16
II.2.b Réponse inflammatoire 16
II.2.b.i Dégranulation des leucocytes 16
II.2.b.ii Activation macrophagique 16
II.2.b.iii Prolifération de pneumocytes II 16
II.2.c Phénomènes ioniques 16
II.3 Facteurs de risques 16
II.4 Présentation clinique et paraclinique 17
II.4.a L'examen clinique 17
II.4.a.i délai avant manifestation 17
II.4.a.ii signes fonctionnels 17
II.4.a.iii signes cliniques 17
II.4.b Les examens complémentaires 17
II.4.b.i radiologiques 17
II.4.b.ii biologiques 18
II.4.b.iii fonctionnels 18
II.5 Evolution 18
II.5.a Complications aiguës 18
II.5.a.i Oedème aigu du poumon lésionnel 18
II.5.a.ii Syndrome de Détresse Respiratoire Aiguë (SDRA) 18
II.5.a.iii Infection 19
II.5.a.iv Alvéolite aiguë 19
II.5.a.v Décès 19
II.5.b Complications chroniques 19
II.5.c Un phénomène de tolérance 19
II.6 Diagnostic 20
II.6.a Positif 20

II.6.b Différentiel 20
II.7 Traitement 20
II.7.a Preventif 20
II.7.b Etiologique 21
II.7.c Symptomatique 21
II.7.d Surveillance 21
II.8 Une maladie professionnelle ? 21
II.8.a Le travail du Téflon 21
II.8.b Les imperméabilisants 22
II.8.c Les agents de démoulage 22
II.8.d Les farts fluorés 22
II.9 Des accidents domestiques 22
III - Un vecteur essentiel : la cigarette 23
III.1 Introduction et pré-requis 23
III.1.a Fumer tue 23
III.1.b Substances contenues dans une cigarette 23
III.2 Un phénomène connu depuis plus de 50 ans 24
III.3 Mécanisme dans la fièvre des polymères 25
III.3.a Augmentation de la température 25
III.3.b Empoisonnement 25
III.3.c Co-toxicité 26
III.4 Des recommandations officielles 26
IV - Le Fart 27
IV.1 Mode d'action 27
IV.1.a Généralités 27
IV.1.b Les farts fluorés 27
IV.2 Intérêt 28
IV.2.a En descente 28
IV.2.b En ski de fond 28
IV.2.c En mer 29
IV.3 Formes 29
IV.3.a Solide 29
IV.3.b Liquide 29
IV.3.c Poudre 30
IV.4 Composition 30
IV.4.a Un secret industriel 30
IV.4.b Les données scientifiques 30
IV.5 Mode d'emploi 31
IV.5.a Le nettoyage 31
IV.5.a.i Le matériel 31
IV.5.a.ii La technique 31
IV.5.b L'application 31
IV.5.b.i Le matériel 31
IV.5.b.ii La technique 31
IV.5.c Le brossage 32
IV.5.c.i Le matériel 32
IV.5.c.ii La technique 32
IV.6 Aspects économiques 32
IV.6.a Liste des producteurs 32
IV.6.b Prix 33
IV.6.c Quantités 33
IV.7 Devenir du fart fluoré 33
IV.7.a Le film adhérent à la semelle 33
IV.7.b Les fumées 33

IV.7.c Les micro-particules 33
IV.7.d Les déchets du fartage 34
IV.8 Répercussions 34
IV.8.a Sur l'environnement 34
IV.8.a.i Libération de particules volatiles 34
IV.8.a.ii L'incinération des déchets 34
IV.8.b Sur la santé 35
IV.8.b.i Une étude rassurante mais unique 35
IV.8.b.ii Une littérature fournie et inquiétante 35
IV.8.b.iii Une hypothèse discutable 36
IV.9 Fiche de données de sécurité 36
IV.10 Messages de prévention 37
IV.10.a Diminution de l'exposition 37
IV.10.b Cigarettes et fartage 38
V - Discussion 39
V.1 Analyse des cas cliniques 39
V.2 Présence de PTFE dans les farts 39
V.3 Le contrôle de la température au cours du fartage 40
V.4 Environnement du fartage 40
V.4.a Magasins de location 40
V.4.b Cabines de préparation 41
V.4.c Appartements / Chambre d'hôtel 41
V.4.c Foyers de ski de fond 42
V.4.d Autres sources de chaleur 42
V.5 Fart et tabagisme 42
V.5.a La contamination des cigarettes 42
V.5.b La consommation de canabis 42
V.5.c La contamination à distance 42
V.6 Paradoxe 43
V.6.a Une maladie peu fréquente malgré une exposition importante 43
V.6.b Un sport de haut niveau saupoudré de toxiques 43
VI - Information 44
VI.1 Mesures préventives 44
VI.1.a Populations cibles 44
VI.1.a.i Magasins de location 44
VI.1.a.ii Préparateurs en compétition 44
VI.1.a.iii Particuliers 44
VI.1.a.iv Skieurs professionnels 44
VI.1.b Informations 44
VI.1.b.i Dangers liés à la présence de PTFE dans les farts 44
VI.1.b.ii Précautions lors de l'utilisation de farts fluorés 45
VI.1.b.iii Message de prévention 45
VI.2 Information aux médecins 45
VI.2.a Populations cibles 45
VI.2.b Message de sensibilisation à la pathologie 46
VI.3 Diffusion de l'information 46
VI.3.a Fédérations et centres de formation 46
VI.3.b Organismes publiques 47
VI.3.c Réseaux médicaux 47
VI.3.d Presse scientifique 47
VI.3.c Producteurs et distributeurs 47
Conclusion 48
Bibliographie 50
Iconographie 54

Introduction

La fièvre des polymères est une maladie rare. Cette pathologie a été décrite dés 1951 [1], son apparition est due à l'inhalation de produits de dégradation thermique des polymères fluoro-carbonés (PFC).

Elle a surtout été décrite dans le cadre d'expositions professionnelles, notamment dans l'industrie du Téflon© [2], de la plasturgie [3,4], après l'utilisation d'agents démoulants [5], ou lors de l'entretien de matières en cuir [6]. Par la suite, des cas domestiques ont été décrits concernant principalement des agents imperméabilisants [7,8,9]. Des cas mortels ont déjà été rapportés [10,11].

L'élévation de température nécessaire à l'apparition de gaz toxiques est rencontrée de manière accidentelle, en cas de dysfonctionnement des outils de travail [12], de ventilation inappropriée [4], ou lors de la consommation de cigarettes [13,14].

De façon plus récente, les PFC contenus dans certains farts pour skis ont été responsables de symptômes pulmonaires [15, 16] provoquant des inquiétudes et la réalisation d'études cliniques [17, 18].

Deux cas de fièvres des polymères après inhalation de produits de dégradation du fart ont été décrits dans la littérature, en 1990 [19] et en 1998 [20].

L'observation de trois nouveaux cas de fièvre des polymères liés à cette exposition aux urgences des Hôpitaux du Pays du Mont Blanc a été l'occasion de réaliser une revue de la littérature et de réunir les informations connues sur la dangerosité des farts contenant des PFC.

Les conclusions de ce travail ont fait l'objet d'une communication auprès des organismes publiques de santé et des réseaux de professionnels.

I - Cas Cliniques

I.1 Motif de consultation

Le 08 avril 2010 à 22h15, MM B, D et S, âgés de 36, 39 et 29 ans, se présentent aux urgences des Hôpitaux du Pays du Mont Blanc pour dyspnée accompagnée d'un syndrome grippal suite à une inhalation de produits toxiques, dans le cadre d'un accident de travail. Ils y sont conduits par leur directeur sportif.

I.2 Antécédents et facteurs de risque

I.2.a Antécédents

Sur le plan médical, M. B présente un antécédent d'asthme dans l'enfance, il ne présente aucun antécédent sur le plan chirurgical.
MM D et S ne présentent aucun antécédent médical ni chirurgical.

I.2.b Facteurs de risque

Les trois jeunes hommes présentent un tabagisme actif évalué respectivement à 12 paquets-années pour M. B, 10 paquets-années pour M. D, et 8 paquets-années pour M. S.

Aucun d'eux n'était vacciné contre la Grippe de type A H1N1.

I.3 Histoire de la maladie

Tous trois sont moniteurs de snowboard installés dans une station des Alpes du Sud, accompagnant l'équipe junior de snowboard locale pour la dernière manche de la coupe de France. MM B, D et S ont préparé une dizaine de planches de snowboard en vue d'une compétition de boardercross dans une chambre d'hôtel à l'aide d'un fart non commercialisé fourni par la société HOLMENKOL©. Celui-ci possède une très forte teneur en fluor, il aurait été utilisé pendant les derniers Jeux Olympiques d'hiver de Vancouver 2010.

Pendant cette activité ils ont consommé de la bière et des cigarettes ainsi que des joints de cannabis.

Au bout d'une heure, ils ont ressenti des difficultés respiratoires associées à une sensation de fièvre. Ils sont donc venus consulter aux urgences après y avoir été invités par leur directeur sportif.

I.4 Examen clinique

Les signes vitaux montrent une diminution de saturation artérielle en oxygène percutanée entre 89 et 93,3%, une fièvre supérieure à 39°C pour deux d'entre eux, le troisième étant apyrétique, tels que reportées dans le tableau 1.

Concernant les signes fonctionnels, on retrouve chez les trois patients un syndrome grippal représenté par une toux de manière constante, des myalgies chez deux d'entre eux, et des frissons chez deux d'entre eux. Sur le plan respiratoire, ils présentent tous les trois une dyspnée de repos. Il n'existe pas de signes fonctionnels digestifs, cardio-vasculaires ou neurologiques.

Concernant les signes physiques, l'auscultation est normale sauf pour M. D chez qui on note une diminution franche du murmure vésiculaire sans crépitants. Le reste de l'examen est sans particularité. Sur le plan hémodynamique et neurologique, il n'existe pas de signe de mauvaise tolérance.

Tableau 1 : Données de l'examen clinique

	M. B	**M. D**	**M. S**	**unités**
Paramètre vitaux				
Température	**39,2**	**37,7**	**39,3**	°C
Pouls	100	82	92	BPM
Tension artérielle	125-65	108-58	110-58	mmHg
Saturation O2	**91**	**89**	**93,3**	%
Signes fonctionnels				
Toux	+	+	+	
Dyspnée	+	+	+	
Frissons	+	+		
Myalgies		+	+	
Arthralgies				
Céphalée			+	
Oppression thoracique	+			
Signes physiques	RAS	diminution	RAS	
	du murmure vésiculaire			

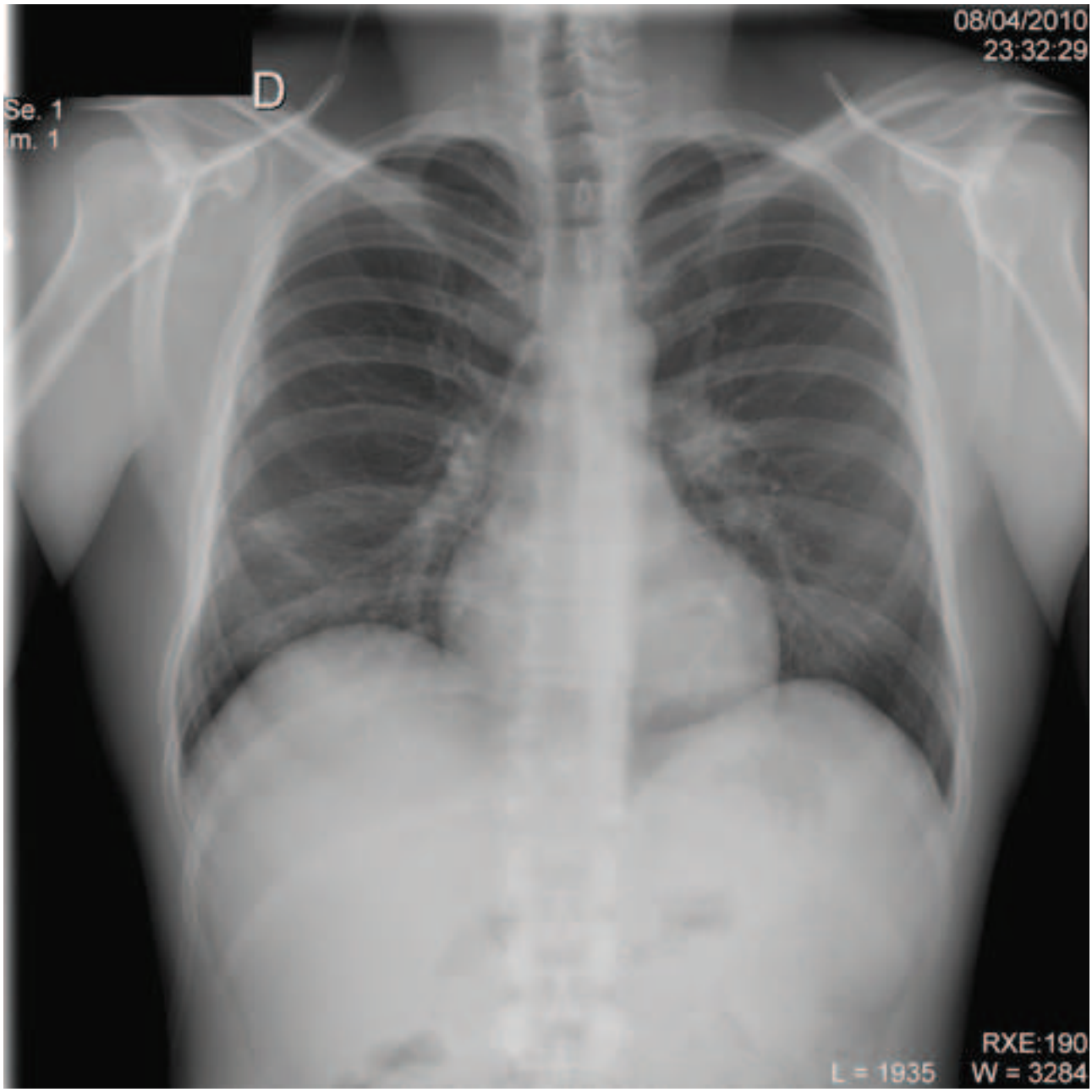
Les valeurs pathologiques apparaissent en gras.

I.5 Examens complémentaires

I.5.a Radiologiques

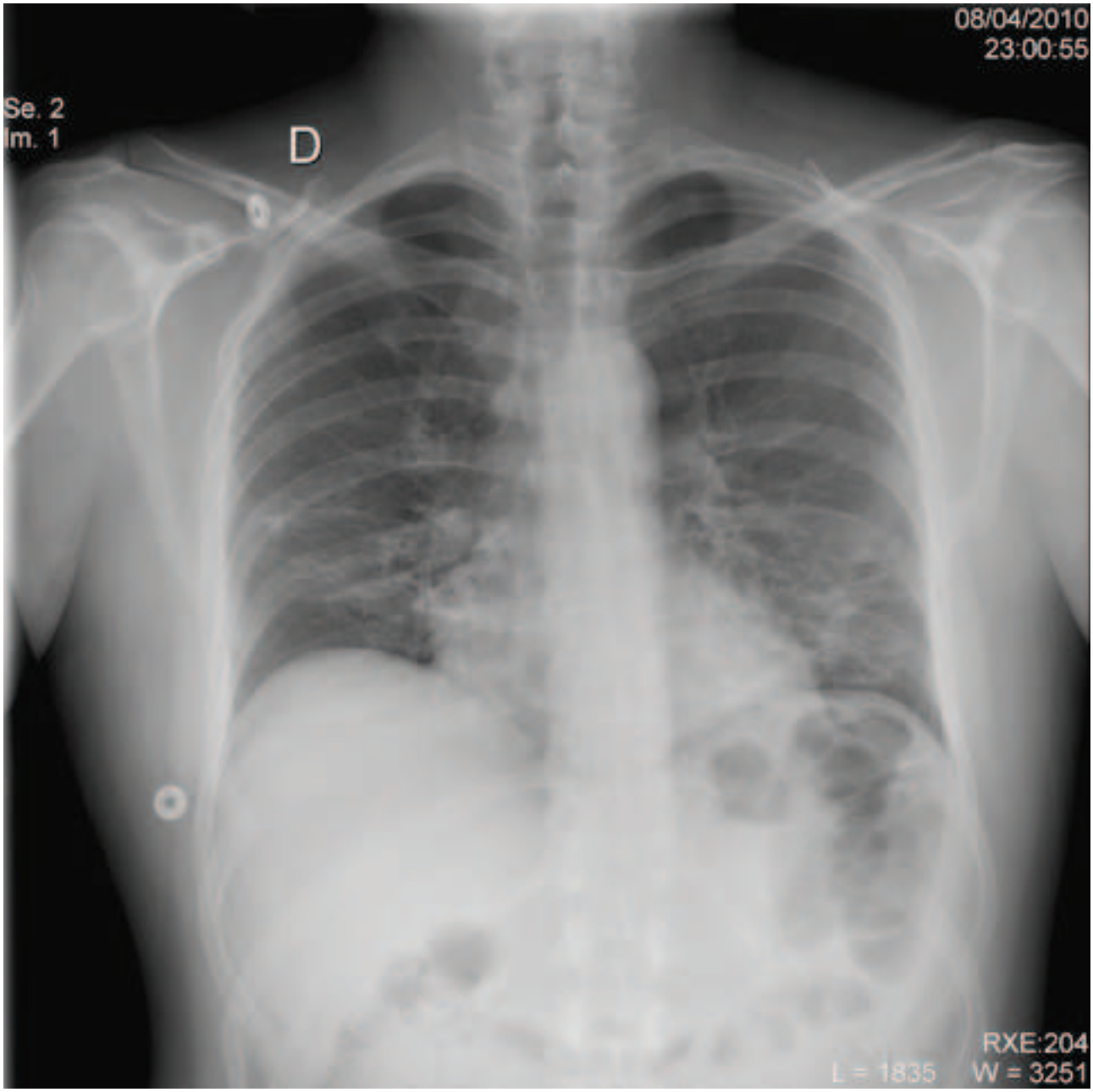
Une radiographie est réalisée pour chacun des patients.

Figure 1 : Radiographie de thorax de face de M. B



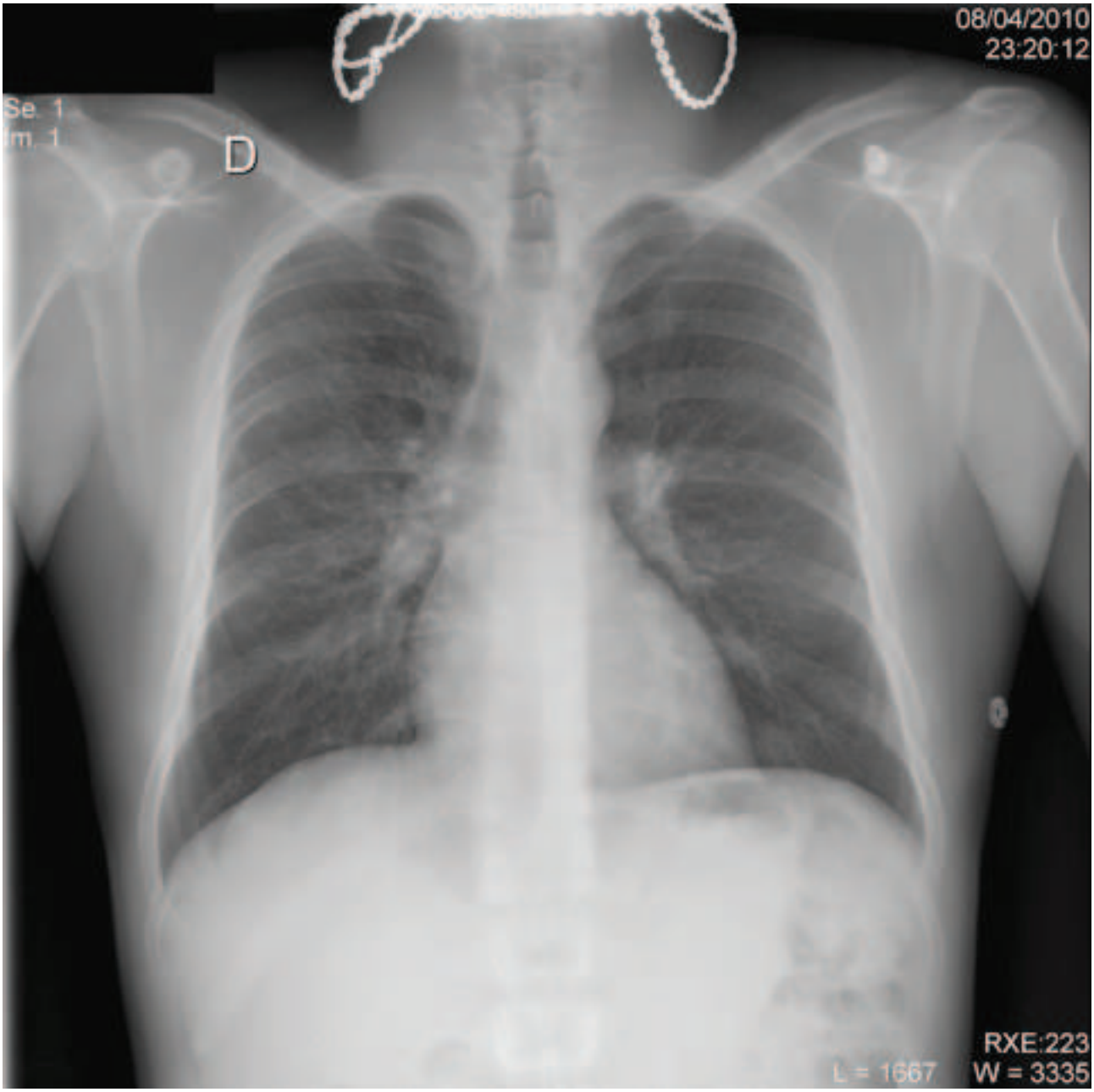
Chez M. B, elle montre un syndrome interstitiel réticulaire bilatéral prédominant aux bases avec respect des lobes supérieurs, et absence d'épanchement pleural.

Figure 2 : Radiographie de thorax de face de M. D



Chez M. D, elle montre un syndrome interstitiel réticulaire bilatéral à prédominance basale avec respect des lobes supérieurs, un épaississement de la trame bronchique au niveau hilaire, et une absence d'épanchement pleural.

Figure 3 : Radiographie de thorax de face de M. S



Chez M. S, la radiographie est considérée normale. Il s'agit du patient dont la saturation est la moins diminuée.

I.5.b Biologiques

La NFS montre une hyperleucocytose prédominant à polynucléaires neutrophiles. La CRP est normale chez MM D et S, elle est faiblement augmentée à 6,6mg/l chez le troisième patient (normale < 5mg/l).

L'ensemble des résultats est consigné dans le tableau 2.

Tableau 2 : Résultats biologiques

	M. B	M. D	M. S	unités	valeurs seuils du laboratoire
leucocytes	**16,8**	13,72	**19,55**	milliers/mm3	4 à 10
hématies	4,8	4,7	4,67	millions/mm3	4,5 à 5,8
hémoglobine	14,9	14,5	14,50	g/dL	13,5 à 17,5
hématocrite	42,9	41,8	40,50	%	40 à 50
VGM	89	89	87		82 à 98
TCMH	31	30,9	31	pcg	27 à 32
CCMH	34,7	34,7	35,8	%	32 à 36
PNN	**14448**	**10823**	**16660**	/mm3	1800 à 8000
PNE	**0**	137	196	/mm3	20 à 500
PNB	0	0	0	/mm3	<200
lymphocytes	1176	1644	1568	/mm3	1500 à 4000
monocytes	**1176**	**1096**	**1176**	/mm3	200 à 800
plaquettes	217	377	220	milliers/mm3	150 à 400
urée	5,51	5,23	5,61	mmol/L	< à 11,9
glycémie	5,88	6,41	5,91	mmol/L	4,5 à 8
créatininémie	97	92	74	µmol/L	62 à 106
sodium	141	140	139	mmol/L	135 à 145
potassium	3,7	4,4	3,6	mmol/L	3,5 à 5
chlore	105	105	**106**	mmol/L	95 à 105
réserve alcaline	23,4	25	23,6	mmol/L	20 à 35
protéines	65,3	65,4	60,1	g/L	64 à 83
calcium	2,32	2,30	**2,18**	mmol/L	2,20 à 2,55
CRP	**6,6**	3,0	0,9	mg/L	<à 5,0
pH	7,405	7,392	7,396		7,350 à 7,450
pCO2	37,10	36,80	36,60	mmHg	35 à 45
pO2	**63,60**	**67,60**	**77,70**	mmHg	> à 80
bicarbonates	22,7	**21,9**	22	mmol/L	22 à 26
CO2 total	23,9	23,0	23,1	mmol/L	22 à 29
excès de base	-1,5	-2,5	-2,3	mmol/L	-3,5 à 2,5
saturation en O2	**90,9**	**91,6**	**93,3**	%	95 à 98

Les valeurs pathologiques apparaissent en gras.

I.6 Traitement

Le traitement, mis en oeuvre dès l'entrée aux urgences, était symptomatique et a consisté en une oxygénothérapie au masque à haute concentration accompagnée d'une surveillance clinique jusqu'au lendemain matin.

I.7 Diagnostic

Devant la présentation clinique et l'anamnèse, le centre antipoison de Lyon a été consulté, celui-ci a porté le diagnostic de fièvre des polymères, une maladie liée à l'inhalation de produits de dégradation du polytétrafluoroéthylène (Téflon ©). Il s'agit d'un accident de travail.

I.8 Evolution

L'évolution est une amélioration en moins de 12h, l'auscultation est normale, et les trois moniteurs, présentant pour M. B 100% de saturation en oxygène sous air ambiant, pour M. D 95%, et pour M. S 97%, sortent du service des urgences le lendemain matin avec une sensation persistante de fatigue.

Un certificat d'arrêt de travail d'une journée leur est remis.

I.9 Suivi

Une radiographie de contrôle est prescrite à chacun des patients lors de leur sortie, mais ils sont perdus de vue après leur retour à domicile.

II - La Fièvre des polymères

Il s'agit d'une maladie induite par inhalation des produits de dégradation du polytétrafluoroéthylène (Téflon©). En proportion beaucoup moins importante, elle peut également être due à l'inhalation de fumées issues du chauffage d'autres matières plastiques (polychlorure de vinyle (PVC), autres polymères chlorés, polyuréthanne) [2].

C'est la plus rare des fièvres d'inhalation [2, 21] qui comprennent la fièvre des métaux, la fièvre des polymères et le syndrome toxique des poussières organiques. De fait, elle représente en 2002, aux Etats-Unis, 10 cas sur 890 fièvres d'inhalation, et seulement 0,06 ‰ parmi les pathologies d'inhalation [22].

Elle peut être provoquée par une quantité infime de toxiques [12].

II.1 Pré-requis

II.1.a Le polytétrafluoroéthylène (PTFE) et ses dérivés

Le polytétrafluoroéthylène (Téflon©) a été découvert en 1938 par accident par Roy J. Plunkett, un chimiste américain employé par l'entreprise Du Pont De Nemours®, il possède une très grande résistance chimique et une thermostabilité jusqu'à 250°C.

Son inertie chimique et son extrême neutralité électrique lui procurent une nature d'isolant étanche et le destine tout d'abord à l'industrie militaire, puis dans les années 1960, il fait son apparition sur les poêles pour ses propriétés anti-adhésives. On le retrouve ensuite dans l'industrie sous de nombreuses formes, comme agent lubrifiant de démoulage et plus récemment, dans les années 1980, dans les imperméabilisants industriels puis ménagers.

Le PTFE est un polymère de tetrafluoroethylene ($CF_2=CF_2$) et peut être représenté par la formule $[-CF_2-CF_2-CF_2-CF_2-]_n$ [23].

Depuis sa découverte, de nombreux dérivés du PTFE ont été synthétisés et sont utilisés dans l'industrie (matériel médical, prothèses, fart). La formule et le nom de la plupart de ces molécules sont tenus secrets par soucis de secret industriel [6, 24, 25]. Dans le cadre de cette thèse, par soucis de clarté et au vu des habitudes de la littérature à ce sujet [2, 4, 26, 27], l'ensemble des produits dérivés du PTFE sera assimilé à ce dernier ou regroupé sous le nom de "polymères fluoro-carbonés". En effet, leur pouvoir pathogène est du aux produits de leur dégradation thermique, exception faite de certains composés contenus dans des imperméabilisants [6, 7], qui possèdent à eux seuls un pouvoir pathogène.

Les méthodes de travail du PTFE se déclinent sous plusieurs formes [12] : le moulage par compression (préformage sous pression puis cuisson à 375°C), le moulage par extrusion (compression puis frittage à 440°C), l'estampage (préformage sous pression puis frittage à 380°C), le soudage (380-390°C), l'émulsion (vaporisation puis frittage à 400°C). Le frittage consiste à créer des liaisons entre les particules en chauffant les matériaux à haute température [28].

II.1.b Produits de dégradation thermique du PTFE

Le PTFE et ses dérivés peuvent subir une pyrolyse, c'est-à-dire une réaction de dégradation thermique non oxydative qui produit de nombreux sous-produits.

Les produits de cette décomposition thermique [21, 29] sont :
à partir de 250°C : le fluorure d'hydrogène (acide fluorhydrique), le fluorure de carbonyle, l'octafluoroisobutylène
à 450°C : le tétrafluoroéthylène
à 460°C : l'hexafluoropropylène
à 475°C : le perfluoroisobutylène

II.1.c Formation de particules de PTFE

À partir de 120°C on constate l'apparition de microparticules de PTFE sous forme d'aérosol [17, 30]. Ces particules sont qualifiées d'ultra-fines [30, 31], elles possèdent un diamètre inférieur à 2,5µm ce qui leur confèrent la capacité de pénétrer les voies aériennes inférieures. Elles peuvent atteindre une concentration de 500000/cm^3 [31] dans l'air ambiant. Cette phase particulaire disparait vers 600°C [12], pour ne laisser place qu'aux produits de dégradation. Avec le temps, les particules ultra-fines coagulent et s'organisent en amas de taille trop importante pour atteindre les poumons.

Contrairement à ce qui est avancé par certains auteurs [12], les microparticules de PTFE ne sont pas à elles seules responsables de la fièvre des polymères, aucune donnée bibliographique ne vient corroborer cette hypothèse. La présence de certaines circonstances et de certains sous produits semble nécessaire.

II.2 Physiopathologie

La physiopathologie de la fièvre des polymères n'est pas élucidée, différentes théories ont été avancées et aucune n'a fait l'objet d'un consensus.

II.2.a Mécanisme d'agression

II.2.a.ii Action des radicaux libres

Les produits de la pyrolyse du PTFE tels que le perfluoroisobutylène pénètrent facilement les poumons et endommagent la barrière hémato-alvéolaire [1] provoquant un oedème microscopique en quelques minutes [27] sous forme d'exsudat. L'action des radicaux libres, comme le peroxyde d'hydrogène, libérés par des réactions chimiques dues au contact des produits de dégradation du PTFE avec les cellules pulmonaires est parfois mise en avant [17, 30] pour expliquer cette atteinte de la barrière.

II.2.a.iii Transporteurs de gaz toxiques

Les particules ultra-fines de PTFE agiraient comme transporteurs de gaz toxiques issus de la phase gazeuse tels que l'acide fluorhydrique, qui, seul, ne peut pas atteindre les voies aériennes inférieures [30]. Ces gaz sont de puissants irritants et participent aux phénomènes inflammatoires.

II.2.b Réponse inflammatoire

II.2.b.i Dégranulation des leucocytes

Une des premières théories, avancée dès 1972 [23], est la libération de substances endogènes pyrogènes par les leucocytes, en réponse à l'agression du tissu alvéolaire provoquée par les particules de PTFE, expliquant à la fois les symptômes respiratoires et la fièvre générée.

II.2.b.ii Activation macrophagique

L'hypothèse d'une réponse inflammatoire non spécifique, c'est-à-dire d'origine non allergique, induite par l'activation des macrophages alvéolaires et la libération des protéines de l'inflammation (TNFα, IL-6, IL-8) au contact des produits de dégradation thermique du PTFE a été avancée [2, 32].

II.2.b.iii Prolifération de pneumocytes II

Les pneumocytes de type II sont les cellules souches de tous les pneumocytes, ils sont capables de métaboliser les xénobiotiques et sécrètent le surfactant. Ils prolifèrent en réponse à l'agression [30]. Ils apparaissent durant la phase de récupération [6], ils auraient un rôle dans le phénomène de tolérance.

II.2.c Phénomènes ioniques

Contenu dans les produits de dégradation, le fluorure (d'hydrogène ou de carbone) est un anion qui se lie fortement aux ions Ca^{++} provoquant la formation de fluoroapatite, ce qui entraîne une hypocalcémie et une hyperkaliémie [20]. En cas d'exposition prolongée, cette hypocalcémie peut engendrer des troubles du rythme cardiaque allant jusqu'au décès, dans certains cas, elle participe également à la mise en place d'une insuffisance rénale.

II.3 Facteurs de risques

Il n'y a aucun facteur de risque reconnu de la fièvre des polymères [7]. Cependant, on remarque le facteur commun que représente l'intoxication tabagique dans un grand nombre de cas [3, 4, 5, 14, 20, 26, 33]. Son importance est traitée en partie IV.

II.4 Présentation clinique et paraclinique

II.4.a L'examen clinique

II.4.a.i Délai avant manifestation

A ce propos, les informations divergent : certaines publications mettent en exergue des cas d'apparition des symptômes dés les premières secondes de consommation d'une cigarette [14, 3] ; d'autres auteurs parlent d'une latence de 1 à 4 heures [1, 27] enfin, certains rapportent un délai de 4 à 8 heures [2, 32].

II.4.a.ii Signes fonctionnels

Les signes fonctionnels sont représentés par une sensation de malaise [2, 27] qui est décrite systématiquement, accompagnée d'un syndrome pseudo-grippal associant céphalée, arthralgies, et myalgies.

II.4.a.iii Signes cliniques

Les signes clinique retrouvent une toux avec dyspnée de repos [7, 9, 14, 27] associée à une fièvre entre 39 et 40°C [1,2]. Il existe une tachycardie modérée à 120 battements par minute [27]. L'auscultation pulmonaire est normale [12, 32, 34].

II.4.b Les examens complémentaires

II.4.b.i Radiologiques

La radiographie de thorax montre parfois une infiltration diffuse des champs pulmonaires [3, 27] éventuellement sous forme d'infiltrat réticulo-nodulaire bilatéral [20]. Souvent, elle est normale [2, 12, 32, 34].

Si on la réalise, on peut mettre en évidence une image de verre dépoli au scanner [6]

Figure 4 : Image de verre dépoli au scanner

II.4.b.ii Biologiques

Le premier signe biologique est représenté par une hyperleucocytose [32] prédominant à polynucléaires neutrophiles, d'installation rapide et transitoire avec un pic sérique à 9-12h et une normalisation en 24-48h [2]. Elle est constante et s'élève de 6 à 26 Giga/L [7], la valeur normale étant de 4-9 Giga/L.

On note également une élévation de la CRP (C-réactive protéine). Dans une étude rétrospective sur 102 cas [7] elle augmente jusqu'à 264mg/dL avec une moyenne de 59 mg/dL, la valeur normale étant < 5mg/dL.

Enfin on observe sur la gazométrie artérielle une hypoxie franche [7, 13] avec une PaO2 pouvant diminuer jusqu'à 60 mmHg, valeur normale > 80 mmHg.

II.4.b.iii Fonctionnels

Le plus souvent normales [2], les explorations fonctionnelles pulmonaires peuvent montrer un syndrome obstructif modéré [14] avec un débit expiratoire de pointe abaissé jusqu'à 200 L/min.

On peut également relever une baisse du coefficient de diffusion du CO (DLCO) jusqu'à 45% de la valeur prédite [6].

II.5 Evolution

Spontanément, la résolution de l'épisode est relativement rapide (en 48h [4, 14] à 72h [27]), et souvent complète, ainsi, le patient pense qu'il a présenté une "grippe" ou un "rhume" sévère, de sorte que l'incident n'est pas rapporté au médecin [1, 23].

II.5.a Complications aiguës

II.5.a.i Oedème aigu du poumon lésionnel

Des cas d'oedème aigu pulmonaire compliquant une fièvre des polymères ont déjà été décrits [9, 10, 13, 19, 18, 33, 35], l'explication de leur survenue n'est pas connue et alimente des théories différentes.

II.5.a.ii Syndrome de détresse respiratoire aiguë (SDRA)

Le cas d'un homme de 60 ans, fumeur, ayant présenté une fièvre des polymères compliquée d'un SDRA a été décrit en Suisse en 1998 [20]. Il aurait été exposé à deux reprises à des fumées de farts fluorés à l'occasion de la préparation d'une quarantaine de paires de ski.

II.5.a.iii Infection

Les infections compliquant une fièvre des polymères due au perfluoroisobutylène sont fréquentes [27] et nécessitent la réalisation d'hémocultures de contrôle, cependant aucune antibio-prophylaxie n'est recommandée par l'OMS.

II.5.a.iv Alvéolite aiguë

Deux cas d'intoxication accidentelle en milieu domestique ont mené à l'apparition d'une alvéolite aiguë, il s'agit cependant des seuls cas décrits [8].

II.5.a.v Décès

Un cas de décès a été décrit en 1997 à la suite d'une intoxication professionnelle ayant amené trois employés d'une fabrique de plastique à développer un oedème aigu pulmonaire, l'un d'eux n'a pas survécu [10]. Dans la même année, un rapport du département de l'armée américaine sur les armes chimiques rapportait deux autres cas mortels [11].

II.5.b Complications chroniques

Il s'agit principalement de fibrose pulmonaire, même si de telles séquelles restent plutôt rares [12, 23, 34, 33].

L'autopsie d'une femme ayant présenté plus de 40 épisodes de fièvre des polymères dans les deux années précédentes, a révélée une fibrose interstitielle modérée [33], sans pour autant permettre d'affirmer quelle en était la cause. Elle a montré que le décès n'était pas lié aux intoxications.

Un autre cas est rapporté [6], celui d'un jeune homme qui a présenté une fibrose pulmonaire dans les suites d'une fièvre des polymères due à l'inhalation d'imperméabilisant pour selle de cheval. Il n'avait pas, contrairement aux autres employés atteints, bénéficié de corticothérapie.

II.5.c Un phénomène de tolérance

Une étude sur les rongeurs [30] a démontré qu'un phénomène de résistance apparaît à la suite d'expositions multiples. Celui-ci serait du à une tolérance développée au cours de précédentes intoxications. Des hypothèses histo-pathologiques concernant la prolifération, à la suite d'une première exposition, de cellules épithéliales de type II et l'augmentation des capacités anti-oxydantes du parenchyme pulmonaire sont avancées. Concernant l'être humain, cette théorie n'a toutefois pas été étayée jusqu'à aujourd'hui.

II.6 Diagnostic

II.6.a Positif

Le diagnostic est porté devant l'association d'un syndrome pseudo-grippal et de l'exposition (professionnelle le plus souvent) à des produits de dégradation du PTFE.

Certains auteurs ajoutent la notion de tabagisme concomitant comme élément du diagnostic [3, 5,12, 23, 33].

En raison de la méconnaissance de cette maladie, le diagnostic est difficile à porter en pratique courante [2], la notion d'exposition n'étant pas systématiquement recherchée et les symptômes évocateurs de maladies plus communes.

II.6.b Différentiel

Devant la notion d'exposition à des produits de dégradation thermique, le seul diagnostic différentiel est la fièvre des métaux. Elle se présente sous la même forme, et elle est due à l'inhalation des fumées de soudage et de vapeurs d'oxydes métalliques (Antimoine, Cadmium, Cuivre, Etain, Fer, Magnésium, Manganèse, Nickel, Zinc...)

En cas de méconnaissance de cette exposition, les diagnostics différentiels [2] de la fièvre des polymères sont liés à la présence d'un syndrome pseudo-grippal :
- infections virales : grippe, rhino-pharyngite, bronchite
- infections bactériennes : pneumopathie, méningite.

II.7 Traitement

II.7.a Préventif

La première des actions de prévention est l'éviction totale, elle consiste à ne pas utiliser de produits fluorés.

En cas de nécessité de contact avec le PTFE ou ses dérivés, les mesures préventives mise en place visent à limiter l'exposition :
- éviter de travailler le PTFE et ses dérivés à une température supérieure à 250°C [1]
- utiliser un système d'extraction par ventilation dans les locaux amenés à recevoir ces produits [1, 16].
- utiliser un équipement de protection individuel (EPI) comprenant un masque homologué, des gants et des lunettes de protection [16].

Il est fortement recommandé de ne pas boire, manger, ni fumer sur le lieu où le PTFE est utilisé [26].

Les employés doivent se laver les mains après manipulation des produits et avant de fumer.

L'administration de N-acétylcystéine 4 à 8 heures avant exposition a prouvé son efficacité chez les rongeurs [27]. Aucune publication ne concerne une telle expérience chez l'être humain.

II.7.b Etiologique

Il n'existe pas de traitement étiologique de la fièvre des polymères, aucun antidote n'est connu ou rendu publique à ce jour (le perfluoroisobutylène est reconnu comme arme chimique militaire) [1, 27].

II.7.c Symptomatique

Le traitement passe d'abord par une éviction de la source d'empoisonnement.

La liberté des voies aériennes doit être confirmée.

Une oxygénothérapie nasale peut être mise en place [1], en cas d'oedème aigu pulmonaire, un traitement par PEEP (positive-end expiratory pressure) ou par CPAP (continuous positive airway pressure) peut s'avérer suffisant [27].

En cas de syndrome obstructif, l'usage d'un broncho-dilatateur peut être utile [14].

L'étude de 7 cas a suggéré l'intérêt d'une corticothérapie pour lutter contre le risque de fibrose [6], cependant aucune étude versus placebo n'a été réalisée. Les auteurs rapportant un traitement par corticothérapie reconnaissent que la résolution spontanée et rapide des symptômes ne permet pas de mettre en évidence leur efficacité [2, 27].

Les patients nécessitent du repos dans un environnement calme [1, 27].

II.7.d Surveillance

Une surveillance clinique et biologique de 48h est indiquée à la recherche d'une hypoxie, d'une hypercapnie ou d'une complication [14, 27].

II.8 Une maladie professionnelle ?

La fièvre des polymères est avant tout une pathologie professionnelle, elle est consécutive à l'exposition aux produits de dégradation thermiques du PTFE et aux particules ultra-fines que peuvent libérer son travail à chaud. Elle n'est pas reconnue comme maladie professionnelle [36] mais comme "ayant un caractère professionnel".

II.8.a Le travail du Téflon

Les premiers cas ont été décrit dans le cadre du travail du Téflon notamment par extrusion [1, 3, 4, 21, 23, 26], ce secteur est depuis longtemps concerné par de multiples consignes de sécurité, et cette pathologie n'est plus décrite aujourd'hui.

II.8.b Les imperméabilisants

D'autres cas ont été décrits après l'utilisation de certains imperméabilisants industriels contenant des polymères fluoro-carbonés [6, 9], certains des produits incriminés ont été retirés du marché [8].

II.8.c Les agents de démoulage

De façon plus épisodique, des agents de démoulage ont été mis en cause dans des industries de tampons encreurs, ou dans la fabrication de produits thermoformés [5, 37].

II.8.d Les farts fluorés

Plus récemment, le monde du ski a été touché par la fièvre des polymères, depuis l'apparition de nouveaux types de farts à base de polymères fluoro-carbonés. De nombreux auteurs s'intéressent aux risques qui touchent les techniciens farteurs [15, 17, 18, 24, 25, 31, 16, 39].

II.9 Des accidents domestiques

Malheureusement de nombreux cas de fièvre des polymères surviennent en dehors du milieu professionnel et échappent donc aux mesures obligatoires et à la prévention de la médecine du travail. Il ne concernent actuellement que des produits imperméabilisants [7, 8, 13], des lubrifiants [14], et des produits de fartage [16, 19, 20].

III - Un vecteur essentiel : la cigarette

III.1 Introduction et pré-requis

III.1.a Fumer tue

Les risques pour la santé que provoque le fait de fumer sont universellement admis, ils concernent :

- le système cardio-vasculaire : infarctus du myocarde, accidents vasculaires cérébraux, artériopathie oblitérante des membres inférieurs, hypertension artérielle...
- le système respiratoire : bronchite chronique, broncho-pneumopathie chronique obstructive, cancer du poumon, sensibilité accrue aux infections...
- la sphère ORL : cancer des voies aéro-digestives supérieures, de langue, dysgueusie, anosmie...
- le système digestif : cancer de l'oesophage, ulcère gastro-duodénal, maladie de Crohn...
- le système urinaire : cancer de vessie,
- le système reproducteur : cancer de l'utérus, impuissance, baisse de la fertilité masculine et féminine...
- la peau : rides précoces, teint gris
- les allergies par son pouvoir irritatif
- l'embryogenèse : retard de croissance intra-utérin, microsomie, prématurité, malformations, mort subite, retard psychomoteur, etc...

La mortalité croît de façon régulière en fonction du nombre de cigarettes fumées, du degré d'inhalation de la fumée, et en fonction de l'âge auquel on a commencé à fumer.

Le tabagisme passif est au premier plan dans de nombreuses pathologies de l'enfant, provoquant entre autres otites répétées et traînantes, toux rebelles, bronchites et laryngites, et du sujet non fumeur telles que décompensation d'asthme, cancer du poumon et de l'utérus (fréquence multipliée respectivement par 3 et par 2).

III.1.b Substances contenues dans une cigarette

Une cigarette contient plus de 599 substances parmi lesquelles on peut citer les plus connues : l'ammoniac, l'acétone, l'arsenic, le benzène, le butane, le monoxyde de carbone, le cadmium, le cyanure, le DDT, le furoate d'éthyle, le plomb, le formaldéhyde, le méthoprène, le maltitol, la Naphtaline, le polonium.

Figure 5 : quelques substances contenues dans une cigarette

III.2 Un phénomène connu depuis plus de 50 ans

Suspectée depuis 1968, la relation entre fièvre des polymères et tabagisme est établie depuis 1972 [23]. En 1977, cette hypothèse est suffisamment forte pour engendrer des recommandations et une interdiction de fumer sur les sites de travail du Téflon© [26]. Depuis, de nombreuses publications ont conforté cette relation [5, 7, 12, 13, 14, 19, 27, 31, 37, 40], leur quantité empêche de les citer de façon exhaustive.

Certains cas de fièvre des polymères non liés à une consommation tabagique et n'étant pas dus à la vaporisation de spray ont été rapportés en 1998 en Suisse [20] et en 2004 en Allemagne [4], cependant, ces situations concernaient systématiquement des fumeurs.

Dans les années 50, une étude, dont aucune publication n'est disponible, aurait été réalisée par la firme Du Pont de Nemours®, sur 40 volontaires, mettant en évidence l'apparition d'une fièvre des polymères après avoir fumé des cigarettes garnies de Téflon©. Malgré l'impossibilité de se procurer cette étude, elle est citée dans plusieurs articles [41, 42], son existence ne peut être réfutée tant les conflits d'intérêt sont grands. Il est possible que ceux-ci aient prévalu au détriment de la science, et que cette étude ne soit pas référencée. Depuis 2004, un procès oppose le gouvernement américain et l'entreprise à propos de la dissimulation d'information sur la dangerosité du Téflon©.

III.3 Mécanisme dans la fièvre des polymères

III.3.a Augmentation de la température

Lors de sa combustion, l'extrémité incandescente d'une cigarette atteint 850 à 900°C [23], or la décomposition des polymères fluoro-carbonés nécessite une température supérieure à 250°C [1, 29]. Normalement, une telle température n'est jamais atteinte lors de l'utilisation de ces produits.

A l'occasion de leur manipulation, des micro-particules de composés fluoro-carbonés se déposent sur les cigarettes. Elles subissent une dégradation lors de la combustion de ces dernières. Ce sont les produits de cette dégradation qui sont toxiques et qui provoquent la fièvre des polymères, car ils sont inhalés avec la fumée de cigarette [8, 12, 19, 21, 26, 37].

Un cas d'épidémie de fièvre des polymères a été répertorié par l'institut national pour la sécurité et la santé au travail (NIOSH), aux Etats-Unis, concernant des ouvriers réalisant des tampons encreurs, celle-ci a été reconnue comme conséquence d'une exposition à des composés fluoro-carbonés associé à un tabagisme actif sur le lieu de travail [5].

III.3.b Empoisonnement

Durant le travail du PTFE et de ses dérivés, si des microparticules sont produites, elles s'organisent en aérosol et ont la capacité de se déposer entre autres sur les cigarettes. Ces microparticules possèdent un diamètre de l'ordre du dixième de micron [17] ce qui leur permet de contaminer les cigarettes [12] même si celles-ci sont contenues dans un paquet fermé, ou sous blister (emballage plastique dans lequel sont vendus les paquets).

Le cas d'une jeune femme travaillant en présence de PTFE a été rapporté en 1972, elle aurait présenté plus de 40 épisodes de fièvre des polymères durant une période de 9 mois ; ceux-ci ont été attribués à une contamination de ses cigarettes par des poussières de PFTE se déposant sur ses mains, qu'elle ne lavait pas à la fin de son travail. En effet, sa collègue de travail, non fumeuse, n'a jamais présenté de symptômes similaires [33].

En 1993, on rapporte le cas d'un jeune homme en bonne santé travaillant comme machiniste plastique qui a présenté des symptômes tels que raideur de nuque, difficultés respiratoires, fièvre, nausées et vomissements associés à une toux sèche irritative. Ces symptômes sont apparus brutalement pendant qu'il fumait une cigarette 2 heures après avoir quitté son travail. Le diagnostic est alors posé au vu du syndrome grippal, associé à la consommation d'une cigarette et à une exposition professionnelle à des microparticules de PTFE [3].

En 1998, une jeune femme a présenté une attaque de fièvre des polymères en fumant une cigarette après avoir appliqué un imperméabilisant sur une veste de ski [13].

En 2006, le cas d'un homme ayant présenté une fièvre des polymères pendant qu'il fumait une cigarette roulée [14] à distance de l'utilisation d'un lubrifiant banal a été décrit.

III.3.c Co-toxicité

Il existe un certain nombre de composés avec lesquels les PTFE sont incompatibles : les métaux alcalins en fusion, le fluor élémentaire, certains composés inter-halogènes, les agents oxydants forts, les agents réducteurs forts [29]. Après étude de 599 substances parmi celles utilisées comme additifs dans les cigarettes, aucune ne correspond à ces catégories.

Aucune étude ne relate de co-toxicité entre les PTFE et les agents rentrant en composition dans une cigarette.

III.4 Des recommandations officielles

En 1977, le département américain de la santé, de l'éducation et du bien-être via son institut national pour la sécurité et la santé au travail interdit l'usage de tabac sur le lieu de travail des ouvriers en contact avec des substances de dégradation de polymères fluoro-carbonés. Il recommande également d'éviter d'apporter toute cigarette ou autres matériels servant à fumer tels que pipe, papier et tabac à rouler. Enfin, il conseille de donner aux employés la consigne de se laver les mains après leur travail et surtout avant de fumer [26].

En 1981, l'Organisation Mondiale de la Santé publie un rapport d'experts sur les risques des expositions multiples au travail, incitant à décréter l'interdiction de fumer sur le lieu de travail notamment dans le cadre du travail des dérivés du PTFE [8].

En France, il est interdit de fumer sur le lieu de travail depuis la loi Evin appliquée depuis 1992 [43], il n'existait aucune restriction officielle concernant le tabac et les dérivés du PTFE avant cette date.

IV - Le Fart

Dans les sports de glisse, la recherche de sensations fortes passent aujourd'hui par la vitesse, un toucher de neige propre et léger, des pentes raides toujours plus accessibles. La préparation du matériel est une activité à la portée de tous : quelques minutes sur internet, deux ou trois accessoires, et chacun peut prétendre à farter ses skis, affuter ses carres, ou reboucher sa semelle.

Par commodité, devant la variété importante du matériel utilisé sur la neige, le ski sera utilisé comme exemple dans cette partie.

IV.1 Mode d'action

IV.1.a Généralités

La "semelle" d'un ski représente son interface avec la neige. Elle se situe en position centrale sous la structure en bois, en carbone ou autres matières composant son corps. La plupart du temps, elle est composée de polyéthylène haute densité ou ultra haute densité. Cette semelle mesure quelques millimètres, mais elle est, à elle seule, responsable du potentiel de glisse. Pour le matériel destiné à la descente, elle est bordée par les "carres", structures en alliage responsables de l'accroche dans les virages.

Le polyéthylène haute densité est un matériau à la polarité presque nulle et extrêmement hydrophobe, il apporte à la semelle une importante résistance à l'usure et un coefficient de friction avec la neige très faible [28].

Le ski glisse sur un film d'eau, celui-ci est en contact avec les rainures microscopiques de la semelle. La présence du fart à l'intérieure de ces reliefs augmente l'évacuation de l'eau et diminue le coefficient de friction. Ce n'est pas le fart qui glisse, c'est la semelle.

IV.1.b Les farts fluorés

Le PTFE et ses dérivés sont utilisés dans le fart pour leur propriété anti-adhésive due à leur nature hydrophobe. Ils augmentent sensiblement la glisse naturelle des skis bien qu'aucune comparaison ne soit établie scientifiquement. C'est l'expérience des compétiteurs qui suffit à en faire des produits réputés.

Leur poids moléculaire et la longueur des chaînes hydrocarbonées qui les composent sont importants et leur confèrent une nature thermo-stable et une forte résistance à l'abrasion.

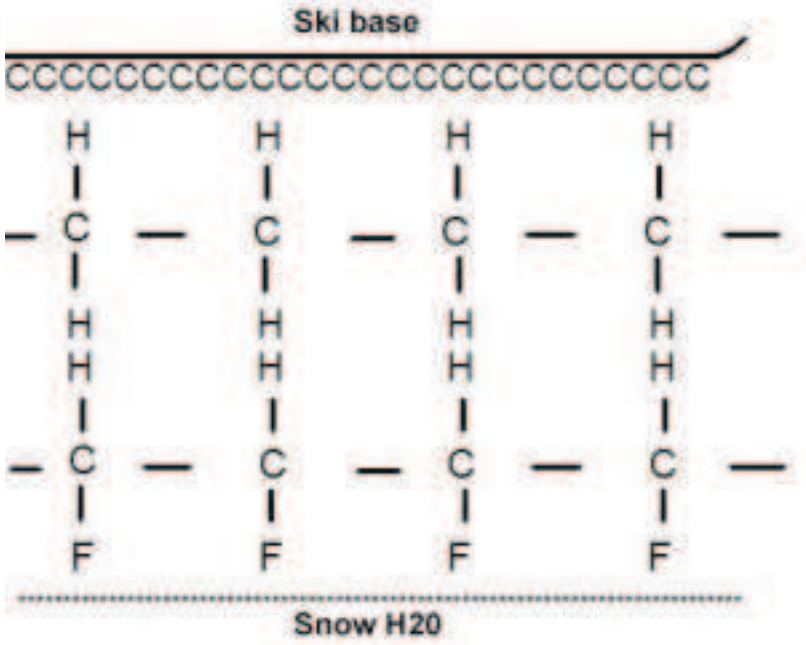


Figure 6 : Bases chimiques du fonctionnement du fart fluoré

IV.2 Intérêt

On peut farter une paire de ski au début de la saison de manière à "nourrir" la semelle après de longs mois de stockage.

On peut également farter ses skis plus régulièrement :

- pour nettoyer la semelle de toutes les impuretés accumulées dans les rainures.
- pour entretenir la semelle, la lubrifier, avant chaque utilisation et éviter ainsi le contact direct entre la semelle et la neige, car le fart se détache des skis durant leur utilisation.
- pour optimiser les sensations et les performances [28].

IV.2.a En descente

La vitesse est inversement proportionnelle au coefficient de friction, il s'oppose à l'effet de la gravité associé à l'inclinaison de la pente, le but du fartage est donc de diminuer ce coefficient.

La liste du matériel pouvant être farter se décline selon les modes et les goûts : bigfoot, furb, monoski, ski, snowblade, snowboard, snowscoot, squawl, swallow, télémark, etc...

IV.2.b En ski de fond

L'importance d'une glisse optimale est essentielle en ski de fond, qu'il s'agisse d'alternatif (phase de glisse alternée avec phase de retenue) ou de skating (à l'image d'un patineur). Sur un sol plat ou en montée, le coefficient de friction est une valeur qui s'ajoute à la gravité et à la pente pour empêcher le skieur d'avancer.

En compétition, c'est la qualité du fartage qui fait la différence. En loisir ou en entraînement, elle conditionne le confort de la pratique et augmente l'efficacité des mouvements.

La pratique spécifique du ski de fond entraîne l'usage de farts supplémentaires, parmi eux on peut citer les "accélérateurs", ils sont très riches en fluor et possèdent donc un grand pouvoir de glisse, mais ils se détachent rapidement de la semelle. Ils sont destinés aux trente premiers mètres d'une course lors d'un départ en ligne. On trouve également des farts liquides utilisés essentiellement pour les sprints.

La préparation d'un ski de fond alternatif comprend aussi l'entretien de la partie d'accroche située au milieu de la semelle. Cette partie est hors sujet puisqu'elle fait intervenir un autre type de fart dit de "retenue".

IV.2.c En mer

Des farts à base de paraffine sont appliqués sous la surface des surfs, des skis nautiques, des planches à voile et des planches de kite-surf afin de diminuer le coefficient de frottement sur l'eau. Les farts fluorés ne sont pas utilisés dans les disciplines nautiques.

IV.3 Formes

Le fart se présente sous trois formes : solide, liquide et en poudre. Chacune de ses formes a un intérêt marketing.

IV.3.a Solide

C'est la forme la plus répandue de fart, elle permet un stockage simple et une application précise du produit, elle permet également les mélanges directement sur la surface, son utilisation nécessite un fer. Il s'agit du "fartage à chaud".

En fonction de la saison, le film d'eau sur lequel glisse le ski peut se présenter sous forme de glace, de neige, de liquide, ou d'association de ces formes. Dans chaque marque, il y a souvent un fart universel, incolore, et une gamme de 4 ou 5 références colorées (bleu, violet, jaune, orange...) ; ces couleurs correspondant à la dureté du fart dont l'usage est déterminé par le type de neige rencontré (dur pour la neige ancienne ou froide, mou pour les neiges humides de printemps). Les fabricants utilisent en fait la température de l'air extérieur comme indication pour l'usage de ces différents farts [44].

IV.3.b Liquide

Elle représente en fait deux types de farts : les farts de compétitions (destinés au sprint selon les producteurs) et les farts "à froid". Ces derniers sont destinés au grand public qui ne possède pas l'équipement pour farter à chaud, ils ont un aspect purement marketing et n'ont rien à voir avec les farts solides.

IV.3.c Poudre

Là encore, il s'agit de farts de compétitions dont l'intérêt reste à prouver, la course aux dixièmes de seconde étant prétexte à une avalanche de produits dérivés. Ceux-ci sont aussi travaillés à chaud.

IV.4 Composition

Chez la plupart des producteurs il existe une gamme de farts simples et une gamme de farts fluorés destinés à la compétition. Les farts dits fluorés contiennent du PTFE ou ses dérivés.

IV.4.a Un secret industriel

La composition des différents farts est liée au secret industriel [24, 25], seule la répression des fraudes possède la liste des composants de chaque produits. Des correspondances répétées avec les différentes entreprises productrices n'ont pas permis d'en citer un seul.

Cependant, certaines informations ont été transmises par la société VOLA RACING® : "Les farts sont des compositions de cires et de paraffines qui sont des dérivés pétroliers plus ou moins raffinés en fonction des produits sélectionnés", ils peuvent contenir "7 à 9 composants différents". Aucune mention n'est faite des composés fluoro-carbonés.

La société MAGICPOTION® déclare que ses "produits sont composés sans éléments toxiques pour l'environnement et la santé des utilisateurs, ils ne contiennent ni fluor ni paraffine et sont 100% biodégradables" et dit remplacer le fluor "par des résines naturelles hydrophobes comme peut l'être le fluor".

La société PURL WAX® elle aussi assure ne pas utiliser de polymères fluoro-carbonés et produire une gamme de fart biodégradable.

La société RACE SERVICE1 WAX® fait produire ses farts par une autre société.

La société HERTEL WAX® affirme utiliser des produits issus de la haute technologie mais pas de PTFE, cependant, un de leurs fournisseurs est la firme Du Pont de Nemours®. Ces polymères fluoro-carbonés seraient moins dangereux. Ils mélangent eux-mêmes du fart à base de paraffine avec les composés fluoro-carbonés selon des concentrations tenues secrètes.

IV.4.b Les données scientifiques

Grâce à la littérature, on peut réunir des informations générales sur la structures chimique des farts : la plupart des farts sont des dérivés pétroliers de type $CH_3(CH_2)_nCH_3$, où n varie de 10 à 80, mélangés, pour les farts fluorés, à des semi-fluoroalkanes de type $CH_3(CH_2)_m(CF_2)_{m'}CF_3$, où m varie de 14 à 20 et m′ de 2 à 16 [24]. La quantité de fluor dans ces farts est supérieure à 50% du poids [17] .

IV.5 Mode d’emploi

L'exemple de la préparation d'une paire de skis de fond, plus exigeante et fréquente que celle de skis de descente, est présenté pour expliquer les différentes étapes du fartage. Il s'agit ici d'une préparation quasi-professionnelle utilisant la méthode la plus répandue à savoir le fartage à chaud à l'aide d'un fart solide.

Pour un rendement maximum la température ambiante idéale du lieu de fartage est de 10 à 15°C [28], si la température est trop basse, le fart refroidit plus vite et il n'a pas le temps de pénétrer dans les rainures de la semelle [45].

IV.5.a Le nettoyage

Le but de cette étape cruciale est de dégager les structures microscopiques de la semelle en la dilatant pour en extraire toutes les impuretés. Celles-ci sont contenues dans la neige et se déposent dans les rainures lors de chaque utilisation.

IV.5.a.i Le matériel

Le nettoyage de la semelle nécessite une brosse à poils en bronze, un fart tendre, dit de nettoyage, un fer à farter, ou à défaut, un fer à repasser, et un racloir en plastique ou en métal.

On peut éventuellement utiliser un "défarteur", il s'agit d'un solvant qui dissout le fart ancien.

IV.5.a.ii La technique

Après un premier brossage pour extraire les reliquats de farts et les premières impuretés, on applique la couche de fart tendre, il se solidifie autour des impuretés plus profondément insinuées, puis on le racle avant son refroidissement complet.

On renouvelle l'opération tant que des tâches noires apparaissent au contact du fart, elles signent la persistance de déchets.

IV.5.b L’application

IV.5.b.i Le matériel

Cette deuxième étape nécessite un pain de fart (ou plusieurs à associer) et un fer à farter, certains utilisent des fers à souder ou des torches pour plus de rapidité.

IV.5.b.ii La technique

Il faut chauffer le pain de fart de manière à le rendre liquide en prenant garde de ne pas le faire brûler et l'appliquer en gouttes sur toute la longueur de la semelle. Une fois les gouttes déposées, on la "repasse" pour répartir le fart sur la totalité de la surface. Le fer doit toujours rester en mouvement pour ne pas altérer la structure en polyéthylène qui, elle, est sensible à l'élévation de la température.

Concernant la température du fer, il est recommandé par la plupart des sites et des guides de ne pas dépasser 120°C. L'avantage des fers spécialisés est qu'ils sont bridés, néanmoins, ils sont gradués à l'aide de pictogrammes d'intensité et non pas en °C. Pour les fers à repasser ménagers, le conseil est d'utiliser la position "synthétique".

La température réelle lors du fartage est de 120 à 130°C [17].

Lorsque le fart est travaillé au fer à souder ou à la torche, la température dépasse facilement 360°C puisqu'il s'agit d'une flamme vive [25].

IV.5.c Le brossage

Cette troisième étape intervient quelques heures (voire une nuit) après l'application du fart, une fois que celui-ci a durci. Le but est de racler le surplus de fart car c'est bien la semelle qui glisse sur l'eau en l'évacuant grâce à ses rainures et non pas le fart.

IV.5.c.i Le matériel

Le matériel comprend une brosse en nylon, et un racloir.

IV.5.c.ii La technique

Après imprégnation de la semelle par le fart, on racle vigoureusement la semelle de la spatule vers le talon jusqu'à obtenir une surface brillante, puis, pour évacuer le fart excédentaire dans les rainures, on brosse la spatule dans le même sens à l'aide de la brosse en nylon.

Selon les producteurs de fart, l'application d'un fart fluoré doit être effectuée après préparation du ski avec un fart normal. On réitère donc la deuxième et la troisième étape [28].

IV.6 Aspects économiques

IV.6.a Liste des producteurs

La liste des producteurs de farts est assez fournie, elle ignore une partie de la production totale : les farts "maisons" produits par des particuliers ou à base de mélanges de farts commercialisés.

- MAGICPOTION®,
- VOLA RACING®,
- HERTEL WAX®,
- RACE SERVICE1 WAX®,
- ONEBALLJAY®,
- ZARDOZ NOTWAX®,
- DOMINATOR WAX®,
- PURL WAX®,
- GREEN SKI WAX®,
- WINDSTEIGER®,

- SOLDA®,
- GLIDE-ON WAX®,
- KUUSPORT MANUFACTURING®,
- HOLMENKOL®,
- TOKO®,
- SWIXSPORT®,
- DRAGONSKI®.

IV.6.b Prix

Les farts fluorés restent l'apanage d'une faible population, ils sont essentiellement utilisés lors des compétitions et par de rares particuliers. Leur prix est en moyenne 10 fois plus cher que celui des farts non fluorés, il s'agit d'ailleurs de la raison pour laquelle leur utilisation est proscrite en compétition chez les mineurs. En effet, la volonté de la fédération française de ski est de limiter les inégalités financières que provoquerait l'utilisation de ces farts.

IV.6.c Quantités

Selon une information recueillie auprès d'un gros producteur de farts, SWIXSPORT®, la quantité de fart fluoré produite est estimée à 275 tonnes par an [24].

Selon une correspondance avec l'entreprise VOLA RACING®, la proportion de farts fluorés ne concerne que 25% de leur vente.

Lors des compétitions, plus de 300 paires de ski sont préparées avant chaque course [39]. Durant une course en relais, une paire de ski peut être fartée jusqu'à 4 fois.

IV.7 Devenir du fart fluoré

IV.7.a Le film adhérent à la semelle

Le film de fart adhérent à la semelle se détache au cours de l'utilisation des skis pour se déposer sur la neige. L'ampleur de ce phénomène est inconnue, mais il concerne une part infime du fart consommé.

IV.7.b Les fumées

L'émission de vapeur fluorée apparait la plupart du temps sous forme gazeuse, cependant, son refroidissement par l'air ambiant provoque la formation de microparticules, celles-ci s'organisent en aérosol [17].

IV.7.c Les micro-particules

Lors de l'utilisation de farts fluorés à chaud, des micro-particules sont libérées. À partir de 120°C, on détecte plusieurs dizaines de milliers de particules par cm^3 dans l'air ambiant, à partir de 130°C, la concentration est multipliée par cent, elle peut atteindre 500000/cm^3 [31]. Celles-ci atteignent une taille moyenne de 0,1 à 1 µm de diamètre, ce qui leur confère un puissant pouvoir de pénétration des tissus pulmonaires [17].

Sous l'effet de la chaleur (160-190°C), la concentration d'aérosols peut atteindre 4,26 ± 2,80mg/m3 dans les échantillons d'air recueillis par prélèvement individuel et 3,97 ± 2,09mg/m3 dans les échantillons obtenus par prélèvement statique. La majeure partie des aérosols (85%) est respirable [16].

IV.7.d Les déchets du fartage

Une large proportion du fart appliqué sur les skis est raclée ou brossée et finit à la poubelle avec le reste des déchets. Lors des compétitions internationales de ski de fond telles que les Jeux Olympiques, les Championnats du Monde, ou la Coupe du Monde, ainsi qu'au cours du Championnat National en Norvège, on estime le poids de fart contenu dans les poubelles à plus de 100kg par compétition [39].

IV.8 Répercussions

IV.8.a Sur l'environnement

Concernant la pollution de l'environnement, la littérature manque de données. Un seul article fait référence à l'atteinte environnementale du fart, celui-ci traite principalement des farts fluorés.

IV.8.a.i Libération de particules volatiles

Une très faible quantité de fart persiste sur la semelle, le devenir de la part excédentaire est divisée en deux groupes : des déchets de grosse taille qui se déposent sur les surfaces, et des déchets légers évacués par le système de ventilation qui se disséminent dans l'air. La préparation de 3 paires de ski avec 30g de fart fluoré en poudre polluerait 20km^3 d'air [39]. Pour mémoire, plus de 300 paires de ski sont préparées avant une course.

IV.8.a.ii L'incinération des déchets

Aucune collecte spécifique n'est organisée pour les déchets de fart fluorés, ils sont donc incinérés avec les déchets ordinaires.

Déjà en 1977, des scientifiques japonais avertissaient du danger représenté par l'incinération des produits fluorocarbonés tels que le PTFE en soulignant le fait qu'elle produit des gaz cent fois plus toxiques que le phosgène, un gaz utilisé durant la première guerre mondiale [46].

Un rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé sur les armes chimiques fait écho à cet article en relatant une expérience effectuée chez des rongeurs mis en contact avec du perfluoroisobutylène, un des produits de dégradation des polymères fluorés : une concentration de 150–180 ppm.min (part par million minute) suffit à tuer la moitié de la population quand une dose de phosgène de 750 ppm.min est nécessaire [27].

IV.8.b Sur la santé

IV.8.b.i Une étude rassurante mais unique

Une étude a conclu en 1997 que l'exposition modérée au fart n'a aucun effet significatif sur la fonction pulmonaire. Elle concernait dix jeunes adultes sains et non fumeurs exposés à 45 minutes de fartage dans une pièce non aérée. Deux comparaisons ont été réalisées : fart paraffiné versus fart fluoré et farteur versus observateur. Une spirométrie et une mesure de la DLCO (diffusing capacity of the lung for carbon monoxide) ont été réalisées avant et immédiatement après le fartage des skis, puis 5 à 6 heures après. Un sous-ensemble de cinq sujets a répété les mesures un autre jour sans être exposé au fart. Après analyse des résultats, aucune altération de la spirométrie et des mesures de DLCO n'a pu être mise en évidence [47].

Cette étude présente des biais tels que la taille insuffisante de son échantillon, et l'absence de bras témoin.

Une étude suédoise de 1992 affirme d'ailleurs le contraire [18], réalisée sur 5 farteurs professionnels, elle montre que la DLCO était diminuée de 10 à 25% immédiatement après 2 à 3 heures d'activité de fartage avec des produits fluorés et qu'il existe un phénomène dose-effet. Le temps de récupération était alors estimé à 6-7 heures. Les fumeurs et les non-fumeurs étaient atteints de la même façon.

IV.8.b.ii Une littérature fournie et inquiétante

D'autres études et articles plus alarmistes se font échos, la majorité provient des pays scandinaves [17 15 19 18 24 16 48].

De 1990 à 1998, 4 publications ont rapporté des pathologies liées à l'utilisation de farts fluorés : plaintes aspécifiques [16] ; fièvre, difficultés respiratoires, irritation des yeux et des voies aériennes [18]; oedème aigu du poumon [19]; Fièvre des polymères [19 20]; diminution de la fonction respiratoire [18], syndrome de détresse respiratoire aiguë (SDRA) [20].

Le premier article concernant une fièvre des polymères due au fartage, datant de 1990, provient de Norvège [19]. Il relate le cas d'un jeune homme de 36 ans sans antécédent d'allergie qui a farté des skis de fond en appliquant du fart fluoré Cera F© (de la marque SWIXSPORT®) à l'aide d'un fer à repasser, tout en fumant des cigarettes roulées à la main. Il a présenté, 45 minutes après l'arrêt de l'activité, un syndrome pseudo-grippal avec frissons, associé à une dyspnée sévère l'amenant à être hospitalisé. A l'hôpital, une radiographie est réalisée qui montre un oedème alvéolaire bilatéral pour lequel il est placé sous antibiothérapie (pénicilline), sa CRP est dosée à 87mg/l et ses globules blancs à 20 Giga/l. Le syndrome est spontanément résolutif en 24h et le diagnostic de fièvre des polymères est posé a posteriori.

Un second article lui fait écho en 1998, en Suisse [20], en rapportant le cas d'un homme de 60 ans, hospitalisé pour SDRA à la suite d'une fièvre des polymères typique dans le cadre du fartage intensif de skis alpins. L'auteur remarque que le fer utilisé pour appliquer le fart était utilisé à la température minimum soit 220°C et qu'aucune fumée ne s'est dégagé lors de son utilisation. Malgré le tabagisme actif du patient évalué à 6/8 cigarettes par jour, la relation n'est pas mise en évidence dans cet article.

En 2009, en Suède, des prélèvements sanguins chez des préparateurs techniques travaillants lors des compétitions de la Fédération International de Ski (FIS) ont révélé la présence de carboxylates perfluoré d'acide perfluoroheptanoique (PFHpA), d'acide perfluorooctanoique (PFOA), d'acide perfluorononanoique (PFNA), d'acide perfluorodecanoique (PFDA), et d'acide perfluoro1-décanoique (PFUnDA), des produits de dégradation des polymères fluoro-carbonés. Cette étude a prouvé l'existence d'une bio-accumulation à long terme et d'une corrélation entre la durée d'exposition et l'importance du taux sérique [24].

Un rapport du National Institute of Occupational Health : Staten Arbeidsmiljøinsitutt (STAMI), publié en décembre 2009 en Norvège [48], conclue avec l'appui de cette étude que les particules fluorées s'accumulent dans le corps et persistent dans le sang pendant des années, et bien que les scientifiques ne soient pas certains des effets à long terme, ils recommandent à toute personne d'utiliser le fart fluoré avec précaution, muni d'un système de ventilation performant et d'un équipement de protection individuel (EPI).

IV.8.b.iii Une hypothèse discutable

Un article polémique va jusqu'à imaginer la libération d'acide fluorhydrique dans l'arbre bronchique, à partir d'une théorie selon laquelle les particules fluorées (bien que réputées stables [17, 18]) se désintègrent et libèrent de l'acide fluorhydrique qui s'associe à l'eau corporelle et provoque des lésions chimiques [25]. Cette théorie a été avancée en 1951 lors de la publication des premiers cas de fièvre des polymères [1] mais n'a pas été relayée par d'autres publications. L'hypothèse d'un transport de molécule d'acide fluorhydrique présentes dans l'air par les particules ultra-fines est la seule référence qui se rapproche de ce phénomène [30].

IV.9 Fiche de données de sécurité

Chaque substance chimique utilisée dans l'industrie possède une fiche de données de sécurité (FDS) ou Material Safety Data Sheet (MSDS). Obtenir ce genre de documents en dehors d'une procédure judiciaire ou d'un contrôle officiel relève parfois du parcours du combattant [25]. Elle contient normalement les informations liées à la dangerosité du produit et à la conduite à tenir face à diverses situations (incendie, ingestion, inhalation). On doit pouvoir les trouver partout où une substance est utilisée. En Europe, elles doivent notamment être distribuées par le fabricant ou le distributeur du produit au client et dans la langue de ce dernier. Ces documents ont été transmis par les sociétés VOLA® [49], MAGICPOTION® [50], et PURL WAX® [51], les autres ont ignoré des demandes répétées, adressées en plusieurs langues.

Aucune des fiches de données de sécurité adressée par les fabricants ne précisent le risque de fièvre des polymères. Elles spécifient néanmoins la nécessité de ne pas fumer lors de la manipulation de leurs produits [49, 50] et qu'ils présentent des risques pour la santé [49, 50] et pour l'environnement [50]. Enfin elles conseillent de contacter un médecin en cas d'exposition accidentelle [50] et d'utiliser des moyens adaptés pour limiter l'exposition [50].

IV.10 Messages de prévention

IV.10.a Diminution de l'exposition

Dans la plupart des articles traitant des dangers du fartage, la conclusion insiste sur la nécessité d'un système de ventilation performant [15, 17, 25, 36, 54, 55] et, à défaut ou en association, d'un équipement de protection individuel lors du travail de farts fluorés.

Figure 7 : Technicien farteur disposant d'un masque de protection avec filtre.

L'Organisation International du Travail (IOT) diffuse une publication en 1996 selon laquelle le fartage devrait être effectué sous aspiration localisée, ou à défaut, avec port d'un équipement de protection individuel respiratoire adéquat [16]. En Europe, il est conseillé de munir le masque d'une cartouche de type P3, l'équivalent en Amérique est une cartouche P100 ou "High-Efficiency Particulate Air" (HEPA) [25].

Devant le phénomène de bio-accumulation et la méconnaissance de ses retombées à long terme, le STAMI recommande en 2009 l'utilisation d'un système de protection personnelle adéquat associé à la mise en place d'un système de ventilation réalisé sur mesure.

Il est également d'usage de ne pas manger ou boire dans une cabine de fartage [15] et par extension dans tout local où cette opération est réalisée.

IV.10.b Cigarettes et fartage

Le principal facteur de risque de fièvre des polymères dues aux produits de dégradation des dérivés fluoro-carbonés est le tabagisme actif. Il agit comme élévateur de la température, et provoque leur pyrolyse. Il est donc fortement déconseillé de fumer pendant le fartage [36, 54, 55], et d'y amener les composants d'une cigarette roulée à la main.

Le rapport de cas norvégien [19] conclue qu'il faut éviter de fumer pendant le fartage et prévient du risque de contamination des cigarettes dans l'espace de fart.

L'entreprise SWIXSPORT®, gros producteur de fart, émet un avertissement [39, 40] sur la notice d'utilisation de son produit CERA F© (mis en cause dans l'article précédemment cité) : "Ne pas exposer le fart aux flammes : torche de fartage, fer à souder, chauffage d'extérieur, cheminée, etc. Ne pas fumer de cigarettes pendant le fartage avec des produits fluorés. En fait, ne fumez pas du tout ! Si les farts fluorés sont exposés à une température supérieure à 300°C (570°F) ils se désintègrent en produisant un gaz toxique."

V - Discussion

V.1 Analyse des cas cliniques

Les trois moniteurs ont présenté une fièvre des polymères typique après avoir farté à l'aide de produits fluorés une vingtaine de planches de snowboard dans un endroit confiné, non ventilé, en y associant la consommation de cigarettes et de joints de cannabis.

Sur le plan biologique, l'absence d'élévation franche de la CRP telle qu'elle est décrite habituellement est expliquée par la prise en charge précoce aux urgences combinée au délai connu d'élévation de la CRP, c'est-à-dire 6 heures après le début du phénomène inflammatoire. On remarque que les signes cliniques ont une expression variable d'un individu à l'autre, mais que la toux et la dyspnée sont des variables communes.

La régression des symptômes a été spontanée en 12h et il n'y a pas eu de complication aiguë.

Leur sortie aurait dû être décidée au bout d'une hospitalisation minimum de 24h, et après la réalisation de gaz du sang artériels, afin d'éliminer une hypoxie, une hypercapnie, un OAP ou un SDRA, pouvant survenir dans les 24 à 48h. Elle aurait dû être accompagnée de la recommandation de ne pas fumer, ni de détenir le matériel nécessaire à fumer, pendant le fartage.

V.2 Présence de PTFE dans les farts

Dans la littérature, la nocivité des polymères fluoro-carbonés n'est plus contestée, depuis les années 90, des articles ont montré que ceux qui sont utilisés dans le fart sont à la fois dangereux pour la santé mais aussi pour l'environnement.

Leur présence dans le fart répond à une quête de performances dans un sport (le ski de fond) qui nécessite une parfaite santé et une hygiène de vie irréprochable. Néanmoins, leur utilisation n'est remise en question ni à haut niveau, ni dans la pratique en compétition amateur. Au mieux, elle l'est chez les plus jeunes pour des raisons purement économiques.

La notion de protection de l'environnement dans les sports de glisse est sous-tendue par le respect de l'élément dans lequel les sportifs évoluent : la nature. Les installations mécaniques et les déchets ménagers liés à la fréquentation des sites constituent déjà en soi une pollution, les composés fluorés sont une menace supplémentaire.

Dans un document appelé "ProcessusEnvironnement", la société DRAGON SKI® communique sur ses engagements pour la protection de l'environnement et la maitrise du risque écologique dans le cadre de la certification ISO 14001 : "DRAGON SKI veille à ce que ses produits soient fabriqués, installés, manipulés, transportés, utilisés et éliminés en toute sécurité et sans créer de risques inacceptables pour l'environnement et pour la santé de ses utilisateurs, et prend à cet égard toutes les mesures qui s'imposent." [52]. Malgré les connaissances dans ce domaine depuis près de 20 ans, elle continue pourtant à produire des farts fluorés.

Les polymères fluorés contenus dans le fart polluent l'air, se déposent sur la neige, pénètrent dans les voies aériennes, et provoquent des maladies potentiellement mortelles. Il s'agit de produits dangereux qui sont responsables d'une bio-accumulation dans l'organisme humain et dont les effets à long terme sont inconnus sur le plan sanitaire et environnemental. Ont-ils vraiment leur place dans l'entretien des skis ? Le "principe de précaution" ne devrait-il pas prévaloir et pousser à interdire l'usage de ces produits ?

V.3 Le contrôle de la température au cours du fartage

Le fartage est une opération chronophage. Quand elle est réalisée en série ou qu'elle représente une perte de temps, on souhaite que le fart coule plus vite sur la semelle. Pour cela, il suffit d'augmenter légèrement la température du fer, qu'il soit spécialisé ou ménager. À partir de 120°C (390°F), ceci a pour effet de provoquer la libération de microparticules sous forme d'aérosol. L'utilisation du fer à moins de 120°C est un facteur diminuant la création de ces microparticules.

Cependant, contrairement à d'autres dont la température de fusion est située vers 65/80°C, certains farts ne deviennent liquides qu'à partir de 120 à 130°C (400°F), dans ce cas, la formation de microparticules fluorées est inévitable. A moins de ne pas utiliser ces derniers, d'autres mesures d'éviction sont donc nécessaires.

V.4 Environnement du fartage

La température ambiante idéale pour le fartage des skis étant de 10 à 15°C, cette opération ne peut pas être réalisée à l'extérieur en période hivernale, idéalement elle ne doit pas être réalisée non plus dans une pièce de vie car la température y atteint le plus souvent 18 à 22°C.

V.4.a Magasins de location

Dans les magasins de location, la pièce où est stocké le matériel sert souvent au fartage des skis ; les clients sont amenés à pénétrer dans celle-ci pour essayer les chaussures ou retirer leur matériel et sont frappés par l'odeur de plastique fondu qui y règne. Ces locaux devraient être systématiquement dotés d'un système d'extraction de l'air.

Par ailleurs, une fois le magasin fermé, les employés de certaines structures avouent consommer des cigarettes dans ce local pendant qu'il réalisent l'entretien du matériel.

V.4.b Cabines de préparation

Lors des compétitions internationales, des "cabines de fartage" sont mises à disposition pour farter, l'aération de ces dernières tient un rôle capital dans la prévention des pathologies d'inhalation, mais elle pose toutefois le problème des répercussions écologiques. Il arrive également que les skieurs et les techniciens farteurs occupent cette cabine en même temps, et parfois que l'on y mange, l'on y boive et l'on y fume. Ceci est à proscrire.

Figure 8 : Une cabine de fartage lors d'une compétition internationale

V.4.c Appartements / Chambre d'hôtel

Les conditions de logement en stations d'hiver poussent les pratiquants à effectuer le fartage de leur matériel dans un espace clos et réduit. Dans le cas des trois moniteurs ayant consulté aux urgences, le fartage a été réalisé dans une chambre d'hôtel ne possédant pas de système de ventilation. D'autre part, l'unique fenêtre de la pièce était restée fermée. Le volume d'air était réduit, augmentant la concentration des microparticules fluorocarbonées.

Certaines structures de vacances organisées offrent le service d'un "skiman" qui stocke et farte les skis des clients dans un local dédié, néanmoins celui-ci n'est pas toujours ventilé, l'employé est donc soumis au risque de fièvre des polymères [53 54].

L'existence de locaux ventilés dédiés au fartage mis à disposition par les municipalités pourrait limiter le risque d'exposition.

V.4.c Foyers de ski de fond

Les domaines de ski de fond possèdent souvent un foyer de ski de fond, il s'agit d'un bâtiment dans lequel on peut acheter son forfait, rencontrer des moniteurs, entreposer ses affaires, louer du matériel, ou prendre son repas tiré du sac. Dans ces foyers, il existe souvent un banc de fart mis à disposition des pratiquants pour farter leurs skis sur place. Même si l'utilisation de fart fluoré y est a priori rare, aucune mesure particulière n'est mise en place pour éviter la contamination de l'air ambiant.

V.4.d Autres sources de chaleur

La température de l'air au contact d'une ampoule à incandescence (dotée d'un filament) est approximativement de 300°C (570°F), cette température est suffisante pour provoquer la pyrolyse des polymères fluoro-carbonés et favorise l'apparition de fluorure d'hydrogène, de fluorure de carbonyle, et d'octafluoroisobutylène en quantité limitée. Cependant, ces produits provoqueraient essentiellement des signes ORL et ce phénomène n'a jamais été évoqué pour expliquer une fièvre des polymères.

V.5 Fart et tabagisme

V.5.a La contamination des cigarettes

Les deux articles relatant des cas de fièvres de polymères dus au fartage concernent des fumeurs. Le premier [19] affiche clairement la responsabilité de l'intoxication tabagique, alors que le deuxième [20], malgré les données de la littérature, n'évoque pas la possible implication des cigarettes contaminées par le PTFE, la consommation de ces dernières est vraisemblablement la véritable cause de l'attaque.

Dans la situation clinique rencontrée aux Hôpitaux du Pays du Mont Blanc, les patients présentent tous trois un tabagisme actif et consommaient du tabac mélangé à du cannabis durant l'activité de fartage.

La consommation de tabac ayant été en contact avec l'environnement de fartage est la cause de l'apparition de la fièvre des polymères, elle doit être proscrite.

V.5.b La consommation de cannabis

L'étude de la littérature ne permet pas de juger de l'implication de la consommation de cannabis dans l'apparition d'une fièvre des polymères. Elle est retrouvée dans un autre cas du à un lubrifiant [14].

V.5.c La contamination à distance

Malgré les faibles doses de toxiques suffisant à la provoquer, il n’existe pas de cas rapporté de fièvre des polymères après consommation d’une cigarette contaminée offerte. Une hypothèse pour l'expliquer est la difficulté de mettre en évidence ce type d’exposition au cours d’un interrogatoire réalisé dans le cadre d’un syndrome pseudo-grippal lors d'une consultation de soins primaires, surtout si le patient ignore que les cigarettes ont été en contact avec des particules de fart.

V.6 Paradoxes

V.6.a Une maladie peu fréquente malgré une exposition importante

Sur le plan de l'anthropologie médicale, la fièvre des polymères présente de nombreux diagnostics différentiels pour lesquels les patients ne consultent pas. En effet, lors de la saison d'hiver, la température extérieure et la fréquence des épidémies d'origine virale peuvent être tenues pour responsables d'un syndrome grippal par la population générale. Celui-ci est souvent vécu comme un épisode aigu et d'évolution rapide, c'est sa persistance, ou la récurrence des attaques [1] qui amène à consulter.

V.6.b Un sport de haut niveau saupoudré de toxiques

Que ce soit en descente ou en fond, les mérites du fart fluorés le propulsent en partenaire incontournable de la victoire. Les compétiteurs n'imaginent plus se passer d'une préparation à base de ce produit, quitte à faire encourir aux techniciens des risques pour leur santé. En Finlande, on estime le nombre de personnes exposées au fart dans le cadre de leur activité professionnelle à 10000 [17], en Suède, 10 à 20000 [18]. Comment des sports aussi exigeants sur le plan physique peuvent encourager l'utilisation de substances nocives dont les effets à long terme sont inconnus tant sur le plan humain que sur le plan environnemental ?

VI - Information

VI.1 Mesures préventives

La première mesure préventive contre la fièvre des polymères est l'éviction totale. Elle consiste à ne pas utiliser de farts fluorés.

VI.1.a Populations cibles

VI.1.a.i Magasins de location ou de préparation

Le personnel est rarement amené à manipuler des produits fluorés puisque leur activité est destinée au grand public. Certains réparateurs et autres distributeurs de matériel neuf proposent un service de fartage, celui-ci n'est jamais réalisé au fart fluoré. Ces employés doivent être informés des risques liés aux farts fluorés par les fabricants, par l'employeur et par les médecins du travail.

VI.1.a.ii Préparateurs en compétition

Les préparateurs représentent la population la plus à risque de pathologies liées à l'inhalation de micro-particules fluorées et de leurs produits de dégradation, ils sont plus souvent amenés à manipuler les farts fluorés. Ces derniers doivent être informés par les fabricants, par les employeurs, par les médecins du travail et par les fédérations de ski.

VI.1.a.iii Particuliers

De nombreuses gammes de farts fluorés se sont développées, cette multiplication des offres permet de diminuer le prix de produits autrefois réservés aux compétitions. Ceci facilite leur accessibilité pour les particuliers qui souhaitent améliorer leur vitesse et leurs sensations. Ils sont les plus démunis face aux risques de ces produits et ne peuvent en être informés que par les fabricants, à l'aide d'une notice explicative éloquente.

VI.1.a.iv Skieurs professionnels

Les skieurs professionnels sont aussi à risque de développer des pathologies liées aux polymères fluoro-carbonés pour plusieurs raisons. En phase d'entraînement, il leur incombe de farter eux-mêmes leurs skis. Parfois ils sont fumeurs. Ils sont amenés à fréquenter les lieux de fartage au cours des compétitions au même titre que les techniciens.

VI.1.b Informations

VI.1.b.i Dangers liés à la présence de PTFE dans les farts

La présence de produits fluorocarbonés dans les farts fluorés est un argument commercial, elle devrait être assortie d'un mise en garde sur les dangers qu'ils représentent : inconfort, fièvre des polymères, oedème aigu pulmonaire, syndrome de détresse respiratoire aiguë, décès.

Celle-ci devrait être suivie d'une liste de symptômes nécessitant l'appel du centre 15 ou une consultation aux urgences les plus proches. De même, les fiches de données de sécurité devraient être mises à jour en ce sens.

Il s'agit de mesures de prévention qui permettent aussi de limiter une perte de chance pouvant être prétexte à réparation.

VI.1.b.ii Précautions lors de l'utilisation de farts fluorés

Sur le modèle de SWIXSPORT® qui, sur l'emballage de son produit "Cera F© pack", conseille au consommateur de ne pas fumer, tous les fabricants de farts fluorés devraient faire apparaître cette interdiction en l'associant éventuellement à un pictogramme.

L'accent devrait également être porté sur l'utilisation d'équipement de protection individuelle (masque, gants, lunettes de protection), et l'importance d'un système de ventilation efficace adapté au faible diamètre des particules ultra-fines.

VI.1.b.iii Message de prévention

Farter peut être nocif pour la santé, on doit confier cette activité à un professionnel. Il ne faut pas fumer pendant qu'on farte ses skis, l'augmentation de la température peut provoquer la libération de gaz toxiques pour l'homme. On doit éviter de farter dans un endroit non ventilé. Il faut bien se laver les mains après l'utilisation de fart et éviter de stocker des boissons, de l'alimentation ou les ingrédients pour réaliser une cigarette là où l'on farte.

Il faut appeler le 15 ou consulter aux urgences en cas d'apparition d'une toux avec difficultés respiratoires, associée ou non à de la fièvre, des frissons, des arthralgies, ou des céphalées, dans les heures ou la nuit qui suivent une exposition au fart, en signalant ce détail.

VI.2 Information aux médecins

Afin d'améliorer la prise en charge et le diagnostic de la fièvre des polymères due aux produits de dégradation du fart fluoré, les praticiens doivent être sensibilisés à cette maladie.

VI.2.a Populations cibles

Les médecins du travail sont les premiers acteurs de la prévention en milieux professionnels, ils évaluent le risque d'intoxication et les mesures mises en place pour protéger les employés.

Les médecins des services d'accueil d'urgence sont amenés à prendre en charge les victimes de fièvre des polymères par l'intensité de leur expression clinique. Devant ce tableau, l'erreur fréquemment commise est la mise en place d'une antibiothérapie ou d'un traitement par béta-agonistes en pensant à une pneumopathie ou à la décompensation asthmatique d'une bronchite. C'est par méconnaissance de son existence que le diagnostic n'est pas porté. Parfois, quand la cause toxique n'est pas suspectée, il arrive que des examens invasifs soient réalisés [2].

Les médecins exerçant en montagne peuvent rencontrer des patients présentant une fièvre des polymères à expression modérée, ils doivent être attentifs à la notion d'exposition récente à des produits fluorés pour ne pas poser le diagnostic de syndrome grippal d'origine virale. Le risque est que le patient continue à s'intoxiquer et développe un oedème ou un SDRA [20].

Les médecins de fédérations doivent, au vu de ces connaissances, tirer des conclusions et communiquer avec les instances directrices afin que les compétiteurs et les techniciens farteurs soient protégés. Des études peuvent encore être menées dans le domaine des conséquences sur le système respiratoire, à court et à long terme, sur l'efficacité des systèmes de ventilation et des EPI, et sur les retombées environnementales.

VI.2.b Message de sensibilisation à la pathologie

La fièvre des polymères est une pathologie d'inhalation très rare potentiellement dangereuse, elle se présente sous la forme d'un syndrome pseudo grippal accompagné d'une toux et d'une dyspnée. Elle peut être due à l'inhalation de produits de dégradation du Téflon© contenu dans certains farts, la notion de tabagisme actif y est fréquemment associée. La biologie peut retrouver un syndrome inflammatoire avec hyperleucocytose et élévation de la CRP, la réalisation d'une gazométrie permet de mettre en évidence une hypoxie et le débit expiratoire de pointe peut être diminué. L'évolution vers la guérison est habituellement spontanée en 24h, mais le risque d'oedème aigu pulmonaire et de SDRA impose une surveillance hospitalière.

VI.3 Diffusion de l’information

VI.3.a Fédérations et centres de formation

Une plaquette d'information sera diffusée auprès des structures suivantes :

- Fédération Française de Ski (FFS)
- Ecole Nationale Supérieure d'Alpinisme (ENSA)
- Centre National de Ski Nordique (CNSN)
- Fédération Internationale de Ski (FIS)
- Fédération Française des Clubs Alpins et de Montagne (FFCAM)

VII.3.b Organismes publiques

Un résumé de ce document sera adressé à ces différents organismes :

- INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.
- InVS : Institut de Veille Sanitaire
- INPES : Institut National de prévention et d'Education pour la Santé
- ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire
- ANACT : Agence Nationale pour l'Amélioration des Conditions de Travail
- CNAMTS : Caisse Nationale de l'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés

VI.3.c Réseaux médicaux

La diffusion des conclusions et recommandations médicales sera confiée aux structures suivantes :

- IFREMMONT : Institut de Formation et de Recherche En Médecine de Montagne, par le biais de sa cellule de veille sanitaire.
- Réseau des centres de consultation de médecine de montagne
- Association Médecins de Montagne
- Association des Médecins Urgentistes de France

La proposition de présenter ce travail lors du prochain congrès de l'association Médecins de Montagne, ou lors d'une Formation Professionnelle Conventionnelle a été faite.

VI.3.d Presse scientifique

Un article sera proposé à différents journaux de la presse scientifique en référence à ce document.

VI.3.c Producteurs et distributeurs

Les différents producteurs de fart qui ont contribué à l'élaboration de ce document en fournissant les fiches de sécurité et des renseignements sur leurs produits se disent intéressés par ses conclusions et en recevront donc un exemplaire, de même qu'un distributeur qui a manifesté sa curiosité.

THESE SOUTENUE PAR : GILLES PRUDHON CHATELAIN

TITRE : **FIÈVRE DES POLYMÈRES APRÈS INTOXICATION AU FART FLUORÉ : UN RAPPORT DE TROIS CAS AVEC REVUE DE LA LITTERATURE**

Conclusion

Nous avons reçu aux Urgences dans le cadre d'un accident de travail, 3 personnes présentant un tableau clinique original. Après avoir réalisé le fartage d'une dizaine de planches de snowboard dans un milieu confiné, ils ont présenté une dyspnée accompagnée d'un syndrome pseudo-grippal. Le diagnostic a pu être posé avec l'aide du Centre Anti-Poison de Lyon, il s'agissait d'une fièvre des polymères. Le tableau a été spontanément résolutif après 12h de traitement adapté en milieu hospitalier.

Deux cas similaires ont été rapportés dans la littérature, on compte un cas en Suisse [20], et un cas en Norvège [19].

La fièvre des polymères est une pathologie d'inhalation due aux produits de la pyrolyse des polymères fluoro-carbonés apparaissant à une température supérieure à 350°. Il s'agit d'une maladie à caractère professionnel. On la rencontre principalement dans l'industrie du Téflon©, lors de l'utilisation d'imperméabilisants ou d'agents de démoulage. L'atteinte est habituellement aiguë et spontanément résolutive en 24h, mais peut parfois être compliquée de troubles sévères comme un oedème aigu du poumon, un syndrome de détresse respiratoire aigu, voire un décès.

Quelques cas ont été rapportés concernant des intoxications lors de l'utilisation de farts dits fluorés contenant des dérivés du PTFE. Le fart est appliqué sous la semelle des skis ou des snowboards, il est utilisé afin d'augmenter le pouvoir de glisse sur la neige. Les farts fluorés sont préférés aux farts simples pour leur plus grande capacité anti-adhésive.

Lors de leur utilisation, des microparticules fluorées s'organisent en aérosol dans l'environnement de fartage. Ces microparticules subissent une pyrolyse dans l'extrémité incandescente d'une cigarette (atteignant au minimum 650°C). C'est l'inhalation des produits de cette pyrolyse avec la fumée de cigarette qui est impliquée dans la fièvre des polymères.

La prévalence de cette maladie est sans doute sous-estimée par défaut diagnostic, l'atteinte correspondant à un syndrome grippal spontanément résolutif dans la plupart des cas, apparaissant en période hivernale.

Les farts fluorés sont principalement employés à haut niveau, c'est pourquoi les sportifs qui les utilisent les appliquent rarement eux-mêmes, dans ce cas cette activité est confiée à des préparateurs techniques. Ce sont eux qui représentent la population la plus à risque de fièvre des polymères, ils doivent être informés en priorité.

Le rapport de ces trois cas cliniques objective les dangers de l'utilisation des farts fluorés en présence de cigarettes : il ne faut pas consommer de cigarettes dans l'espace où l'on farte sous peine de déclarer une fièvre des polymères.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER

Grenoble, le 12 Avr 2010

LE DOYEN

B. SELE

GRENOBLE 1 - FACULTÉ DE MÉDECINE - UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER
FACULTÉ DE MÉDECINE SCOLARITÉ

LE PRÉSIDENT DE LA THESE

Pr Patrick LEVY
Laboratoire EFCR et Sommeil
Pôle Rééducation et Physiologie
CHU de GRENOBLE 38043
PROFESSEUR LEVY
N° RPPS 10002979945

Bibliographie

1 : **D. Kenvin HARRIS**.
POLYMER-FUME FEVER,
The Lancet, 1 Dec 1951, Pages 1008-1011

2 : **P. Andujar, B. Nemery**.
Pathologies respiratoires aiguës.
Revue des Maladies Respiratoires, Volume 26, Issue 8, October 2009, Pages 867-885

3 : **Silver MJ, Young DK**.
Acute noncardiogenic pulmonary edema due to polymer fume fever.
Cleveland Clinical Journal of Medecine. 1993 Nov-Dec ; 60 (6) : 479-82.

4 : Cases of Poisoning Reported by Physicians in 2004,
Bundesinstitut für Risikoberwertung (Federal Institue for Risk Assessment), pages 33-34

5 : **Albrecht William N , Bryant Charles J**.
Polymer-Fume Fever Associated with Smoking and Use of a Mold-Release Spray Containing Polytetrafluoroethylene.
Journal of Occupational and Environmental Medicine October 1987. Volume 29 : pages 817-9

6 : **G M F Wallace, P H Brown**.
Horse rug lung: toxic pneumonitis due to fluorocarbon inhalation.
Occup Environ Med 2005 62: 414-416

7 : **David Vernez, Raffaella Bruzzi, Hugo Kupferschmidt, Alice De-Batz, Pierre Droz, Romain Lazor**.
Acute Respiratory Syndrome After Inhalation of Waterproofing Sprays: A Posteriori Exposure-Response Assessment in 102 Cases.
Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 3: 250–261

8 : **F Testud , L Gabrielle, ML Paquin, J Descotes**.
Alvéolite aiguë après utilisation d'un aérosol imperméabilisant : à propos de deux observations.
Rev Med Interne1998 ; 19 : 262-4

9 : **M. Guirguis, C. Rauber-Lüthy, G. Egli, H. Kupferschmidt**.
Centre Tox : observations en 2002.
Schweizerische Ärztezeitung / Bulletin des médecins suisses / Bollettino dei medici svizzeri; 2003; 84 : Nr 45, 2357- 58

10 : **CH Lee, YL Guo, PJ Tsai, HY Chang, CR Chen, CW Chen, and TR Hsiue**.
Fatal acute pulmonary oedema after inhalation of fumes from polytetrafluoroethylene.
Eur Respir J 1997; 10:1408-1411

11 : **Urbanetti, JS**.
Toxic inhalational injury. in: Sidell F, Takafuji ET, Franz DR, eds. Medical aspects of chemical and biological warfare.
Washington, DC, Department of the Army, Office of The Surgeon General and Borden Institute, 1997.

12 : **D Lafon, R Garnier**.
Toxicité des produits de dégradation des matières plastiques.
Encyclopédie Médico-Chirurgicale, Toxicologie - pathologie professionnelle, 2008, 16-541-C-10,

13 : **Jinn Y, Akizuki N, Ohkouchi M, Inase N, Ichioka M, Marumo F**.
Acute lung injury after inhalation of water-proofing spray while smoking a cigarette.
Respiration 1998; 65 : 486-8.

14 : **M. Patel, A. Miller**, **Summon Chomchai**.
Polymer fume fever after use of a household product.
The American Journal of Emergency Medicine, Volume 24, Issue 7, November 2006, Pages 880-881

15 : **Aubrey Smith**.
The hazards of waxing, traduction et compilation de [Jeg har jobbet i to år med prototypen] 1-5-10; [Skismøring kan gi alvorlig sykdom] 12-20-09 ; [Er ikke bekymret for skadevirkningene av skismørning] 12-22-09 issus de Langrenn.com, FarterSkier.com, January 6th, 2010

16 : **Liesivuori J, Kiviranta H, Laitinen J, Hesso A, Hämeilä M, Tornaeus J, Pfäffli P, Savolainen H**.
Airborne aerosols in application of polyfluoro polymer-based ski waxes.
Annals of Occupational Hygiene, déc. 1994, vol.38, n°6, p.931-937.

17 : **Kaarle Hameri, Pasi Aalto, Markku Kulmala, Esko SammaljIrvi, Erik Spring and Pekka Pihkala**.
Formation of respirable particles during ski waxing, Journal of Aerosol Science, Volume 27, Issue 2, March 1996, Pages 339-344

18 : **Dahlqvist,M.; Alexandersson,R.; Andersson,B.; Andersson,K.; Kolmodin-Hedman, B.; Malker, H**.
Exposure to ski-wax smoke and health effects in ski waxers.
Appl. Occup. Environ. Health 1992, 7, 689–693.

19 : **Ström, E.; Alexandersen, O.**
[Lungeskade i forbindelse med smöring av ski].
Tidsskri Nor Laegeforen 1990, 110, 3614–3616.

20 : **Bracco D, Favre J.B**.
Pulmonary injury after skiwax inhalation exposure.
Ann Emerg Med 1998, 32 (5), 616–619.

21 : **Jeanne Mager Stellman, Chantal Dufresne**.
Encyclopédie de sécurité et de santé au travail, Volume 4, 2004, page 736

22 : **Watson et al**.
2002 Annual report of the American Association of Poison Control Centers. American journal of emergency medecine. Volume 21, Number 5. September 2003 pages 353-412

23 : Polymer fume fever,
The Lancet, Volume 300, Issue 7766, 1 July 1972, Pages 27-28

24 : **Helena Nilsson, Anna Kärrman, Hâkan Westberg, Anna Rotander, Bert Van Bavel, Gunilla Lindström**.
Time Trend Study of Significantly Elevated Perfluorocarboxylate Levels in Humans after Using Fluorinated Ski Wax,
Environmental Science & Technology (ACS Publications) 2010, 44, 2150–2155

25 : **Matthew T. Pauli**,
Safety & Health Factors,
SkiWax.ca, 2002

26 : **NIOSH**.
Occupational exposure to decomposition products of fluorocarbon polymers, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 1977

27 : Respuesta de la salud pública a las armas biológicas y químicas - Guía de la WHO segunda edición. 2003. pages 156-160

28 : The technical book by Vola. http://www.soft-control.com/docs_vola/nordic.pdf

29 : Polytétrafluoroéthylène, Service du répertoire toxicologique de la Commission de la santé et de la sécurité du travail - CSST , Québec, MAJ 07/05/2009

30 : **Carl J. Johnston et al**.
Pulmonary Effects Induced by Ultrafine PTFE Particles,
Toxicology and Applied Pharmacology, Volume 168, Issue 3, 1 November 2000, Pages 208-215

31 : **G. Oberdörster**.
Distribution of ultrafine aerosols in the organism in BIA-Workshop "Ultrafine aerosols at the workplace".
July 2003. Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz (BG Institute for Occupational Safety and Health) Sankt Augustin, Germany

32 : **P CUQ**.
PNEUMOTOXICITE : Toxicité du système respiratoire.
UE Investigation Toxicologique - Novembre 2009

33 : **Williams N, Atkinson W, Patchefsky AS**.
Polymer-fume fever: not so benign.
Journal of Occupational Medicine, 1974, 16:519–522.

34 : **P. Andujar**.
Poumon et toxiques.
Diplôme Inter-Universitaire (DIU) de Toxicologie Médicale 2009-2010. page 36

35 : **Evans EA** :
Pulmonary edema after inhalation of fumes from polytetra-fluoroethylene (PTFE).
J Occup Med 1973 ; 15 : 599-601.

36 : **Y. Martinet, D. Anthoine, G. Petiet**.
Les maladies respiratoires d'origine professionnelle. Masson, 1995

37 : Polymer-Fume Fever Associated with Cigarette Smoking and the Use of Tetrafluoroethylene,
Morbidity and Mortality Weekly Report. Centers for Disease Control and Prevention. August 14, 1987 / 36(31);515-516,521-522

38 : **Dumortier B, Fabre M, Gondran L, Papillon R, Garnier V, Cambon G, Chateau A**.
Do you fart with caution?
J Med Sal. 2008 ; 234 : p 45-65

39 : **Leonid Kuzmin**.
Summa Summarum of health improving skiing.
Departement of Engineering and Sustainable Development, Mid Sweden University

40 : **L Torgersen** pour Swix Sport.
[Lungeskade i forbindelse med smøring av ski]
Tidsskri Nor Laegeforen. 1991 Jun 10; 111(15): 1883-4

41 : Actualités de la revue, Le teflon : un nouveau scandale sanitaire, L'Ecologiste, 25 sept 2005

42 : DuPont workers smoke Teflon-laced cigarettes,
Company experiments EWG Science Analysis. mai 2003

43 : Décret n° 92-478 du 29 mai 1992, portant application de la loi n° 91-32 du 10 janvier 1991 (dite Loi Evin).

44 : Le fartage à chaud. http://www.skitour.fr/articles/read_90.html

45 : Le fartage des skis. http://www.skitrace.com/fartage-ski.php

46 : **Arito H, Soda R**.
Pyrolisis products of polytetrafluoroethylene and polyfluoroethylenepropylene with reference to inhalation toxicity.
Annals of Occupational Hygiene, 1977, 20, 247-255.

47 : **Hoffman Martin D, Clifford Philip S, Varkey Basil**.
Acute effects of ski waxing on pulmonary function.
Med Sci Sports Exerc. 1997 Oct; 29 (10) : 1379-82.

48 : **Dag G. Ellingsen, Hanne Line Daae, Raymond Olsen, Merete Hersson, Syvert Thorud, Baard I. Freberg, Pål Molander**.
[Kjemisk eksponering og effekter på luftveiene blant profesjonelle skismørere]. Staten Arbeidsmiljøinsitutt (STAMI) (National Institute of Occupational Health) 16.12.2009 Nr.8, Årgang 10, ISSN : 1502-0932

49 : Fiches de Données de Sécurité produits VOLA®

50 : Fiches de Données de Sécurité produits MAGICPOTION®

51 : Material Security Data Sheet. PURL WAX®

52 : ProcessusEnvironement. http://www.dragonski.com/docs/Processus_environnement.pdf

53 : Fiche résumée : SKIMAN. Fiche résumée médico-professionnelle. FMPCISME.org

54 : **Association des Médecins du Travail de Savoie**
Skiman : quels risques ?
Brochure d'information

55 : **Pichand J.**
Skiman : quels risques ?
Mémoire pour l'obtention du diplôme d'université de toxicologie clinique. Faculté de Grenoble, 1994

Iconographie

Figure 4 : G M F Wallace, P H Brown. Horse rug lung: toxic pneumonitis due to fluorocarbon inhalation. Occup Environ Med 2005 62: 414-416

Figure 5 : http://www.asthme76.com/public/cigarette.jpg

Figure 6 : Aubrey Smith. The hazards of waxing, traduction et compilation de [Jeg har jobbet i to år med prototypen] 1-5-10; [Skismøring kan gi alvorlig sykdom] 12-20-09 ; [Er ikke bekymret for skadevirkningene av skismørning] 12-22-09 issus de Langrenn.com, FarterSkier.com, January 6th, 2010

Figure 7 : http://www.stami.no/?nid=61214&lcid=1033

Figure 8 : Langrenn.com in Aubrey Smith. The hazards of waxing, traduction et compilation de [Jeg har jobbet i to år med prototypen] 1-5-10; [Skismøring kan gi alvorlig sykdom] 12-20-09 ; [Er ikke bekymret for skadevirkningene av skismørning] 12-22-09 issus de Langrenn.com, FarterSkier.com, January 6th, 2010