

Matériau ignifuge

Comment la chimie contribue-t-elle à la sécurité des sapeurs-pompiers au quotidien ?

Remerciements

Je voudrais commencer avant toute chose par remercier toutes les personnes qui m'ont aidé tout au long de ce travail de maturité, toutes les personnes qui m'ont apporté quelque chose et qui ont fait en sorte que ce document est ce qu'il est...

Mes remerciements vont en premier lieu à M. Philippe Durussel, qui a été mon maître répondant pour ce travail. Un grand merci pour sa disponibilité, pour ses conseils et son soutien moral. Il m'a aidé lorsque j'en avais besoin en répondant à mes questions et en me confortant dans mes idées lorsque j'en doutais. Tout cela sans oublier sa bonne humeur, qui a rendu cette expérience plus qu'agréable. Encore une fois, un chaleureux merci à lui.

Une autre personne que je voudrais particulièrement remercier, M. Lionel Taillens, qui dirige la société Taillens SA à Lausanne, spécialisée dans la vente de matériel destiné aux sapeurs-pompiers. C'est avec lui que j'ai pu aborder pour la première fois le sujet des vestes feu de façon plus approfondie. Il m'a fourni bon nombre d'informations figurant dans ce travail lors d'entretiens que j'ai eu le plaisir d'avoir avec lui. Sans lui, il m'aurait été impossible d'aboutir au présent résultat. Un grand merci à lui également.

Je voudrais encore remercier toutes les personnes qui m'ont tout simplement aidé...

Mme Linda Cubrilo de la société DuPont, qui m'a fourni des brochures informatives quant au Nomex.

M. Stéphane Biro, qui m'a aidé à diffuser mon questionnaire et fourni des informations quant aux critères de sélection des tenues.

M. Fabian Joris, qui m'a ouvert les portes de son site « swissfirefighters.ch », également pour la diffusion de mon questionnaire.

M. Alessandro Panno, qui m'a transmis des informations relatives aux pompiers de Lausanne.

M. Michel Bernard, qui m'a transmis des informations relatives aux pompiers genevois.

Un tout grand merci aux 51 personnes qui ont eu la gentillesse de m'accorder un peu de temps en répondant à mon questionnaire.

Merci également à ma famille, mes proches et amis qui m'ont apporté leur soutien d'une manière ou d'une autre tout au long de ce travail de maturité.

Un mot donc, merci !

Table des matières

1. Introduction	3
2. Partie principale	4
2.1 Sécurité.....	4
2.1.1 Prescriptions.....	4
2.1.2 Normes.....	5
2.1.3 Tenue en aramide	6
2.1.4 Définition de l'aramide.....	6
2.2 Couche extérieure	7
2.2.1 Fibres.....	7
2.2.2 Fibres d'aramide spécifiques	7
2.2.3 Composition chimique.....	8
2.3 Fabrication des fibres et tissus	9
2.3.1 Obtention des fibres.....	9
2.3.2 Obtention du fil définitif.....	10
2.3.3 Obtention du tissu.....	10
2.3.4 Comparaison des 2 fibres	11
2.3.5 Fonctionnement du tissu Nomex.....	12
2.4 Vestes	13
2.4.1 Les différentes couches	13
2.4.2 Expérience – l'air comme isolant.....	15
2.4.3 Tests.....	16
2.4.4 Différents composants à disposition	17
2.4.5 Différentes combinaisons.....	17
2.5 Réalité.....	18
2.5.1 Connaissances des sapeurs-pompiers	18
2.5.2 Critères importants	18
2.5.3 Confection	20
2.5.4 Une tenue adaptée.....	20
2.5.5 Législation	21
2.5.6 Uniformité.....	21
2.5.7 Evolution	21
3. Conclusion	22
4. Bibliographie	23
5. Tables des illustrations	25
6. Annexes	26

1. Introduction

« Quand je serai grand, je serai pompier ». Nombreux seraient les petits garçons qui auraient répondu ainsi si vous leur aviez demandé quel métier ils exerceraient une fois adultes. Je n'ai pas échappé à la règle, et ces mots auraient pu être les miens. Dès mon plus jeune âge, j'ai manifesté un vif intérêt pour cet univers. Agé de 2 ans, je me déplaçais donc logiquement d'un bout à l'autre de l'appartement sur mon camion de pompiers équipé d'une sirène, prêt à intervenir en cas de sinistre. J'étais fasciné par le feu, j'avais un goût prononcé du risque et l'uniforme constituait pour moi un rêve. En 2004, l'opportunité d'entrer dans le monde des sapeurs-pompiers se présenta et à l'âge de 11 ans, j'intégrai les Jeunes Sapeurs-Pompiers (JSP) de Vevey/La Tour-de-Peilz. Je touchai donc ma première tenue, constituée d'une paire de bottes et gants, d'une salopette, d'un imperméable et d'un ancien casque, celui-ci remplacé en 2008 par un casque aux normes.

J'ai donc passé 5 ans et demi parmi les JSP, avant de rejoindre les cadets dans le courant de l'année 2009, passage attendu par tous. Et pour cause ! il constitue la dernière étape avant l'intégration au sein du corps des sapeurs-pompiers en tant qu'adulte. C'est à ce stade que les choses prennent une dimension plus sérieuse. Cette ultime phase est marquée par un événement symbolique, qui est l'examen de passage de la « Flammes 3 » (précédé par les Flammes 1 et 2, elles-mêmes examinées durant les années passées au sein des JSP). Ces « Flammes » sont en quelque sorte des grades, synonymes de connaissances acquises. Afin d'obtenir ce dernier grade, un examen est mis en place par l'établissement cantonal d'assurance (ECA). Grade particulier, car en cas de réussite, nous faisons l'acquisition de notre équipement définitif, composé d'un uniforme en 2 pièces, d'une veste ignifuge et également d'un casque F1 (casque utilisé pour les interventions). Ce grade, je l'ai moi-même obtenu le 4 septembre 2010 et ai par conséquent touché ma « veste feu ».



Figure 1 - Flamme 3. Dernier grade cadet, sur tissu Nomex. Document personnel

J'ai toujours été attiré par les sciences et particulièrement la chimie. Lorsque j'ai découvert que le tissu extérieur de ma veste était un produit de la chimie, j'ai de suite

décidé que cela allait être le sujet de mon travail de maturité. De plus, je prévoyais (aujourd'hui encore) d'entrer à l'EPFL en sciences des matériaux ; c'était donc un sujet pour moi.

Je pense que ce sujet a son importance, car il concerne tous les hommes et toutes les femmes qui s'engagent pour la société au péril de leur vie, ceci afin de garantir la sécurité à l'intérieur et à l'extérieur des villes, mais surtout afin de sauver des vies. Il me paraît inutile de justifier la nécessité des sapeurs-pompiers aujourd'hui, tout comme celle des ambulanciers. Ce sont tous deux des services mis en place pour nous secourir, des services sans lesquels les villes ressembleraient à des ruines, et sans lesquels la mortalité due aux accidents serait bien plus élevée que ce qu'elle ne l'est aujourd'hui. Leur protection personnelle est de ce fait indispensable. Afin de remplir son rôle de secouriste, l'homme a élaboré des équipements de protection pour se prémunir des dangers potentiels, initialement le feu pour les pompiers, et ainsi pouvoir intervenir efficacement en cas d'incendie ou d'autre sinistre. Peu à peu, les équipements se sont perfectionnés, prenant en compte d'autres dangers tels que les produits chimiques. La chimie a rendu possible cette évolution, et cela fait l'objet de mon travail de recherche.

Dans mon travail, je tenterai de déterminer la place de la chimie dans les équipements de protection des sapeurs-pompiers. Je traiterai également du sujet des vestes dans leur ensemble (sur le plan national), des connaissances des sapeurs-pompiers et des espérances futures quant à l'évolution de l'équipement. Je tenterai d'aller au plus loin dans les explications ayant trait la chimie, mais dans la limite de mes connaissances. Je me focaliserai sur le matériau utilisé comme tissu extérieur des équipements de protection individuelle que portent les combattants du feu et passerai brièvement en revue l'équipement complet du SP, toutefois je me focaliserai sur la veste feu. J'étudierai principalement le Nomex de Dupont de Nemours dans ce travail.

2. Partie principale

2.1 Sécurité

2.1.1 Prescriptions

Il est évident qu'il est nécessaire d'assurer sa propre protection face à une situation dangereuse, même lorsqu'il s'agit de sauver des vies. Un pompier brûlé, blessé ou, dans un cas extrême mort, n'est plus un pompier, il devient une victime de plus. Pour éviter cela, un certain nombre de prescriptions de sécurité ont été établies. Chaque sapeur se doit de les apprendre et de le retenir. Elles sont répertoriées dans un classeur édité par la Fédération suisse des sapeurs-pompiers (FSSP) qu'on nomme « classeur fédéral ». Les deux premières prescriptions que l'on apprend sont les suivantes : « La sécurité des

forces d'intervention est prioritaire » et « Equipement personnel adapté à l'intervention »¹.

L'accent est clairement mis sur la sécurité des intervenants. Pour ce qui est de l'équipement, le SP effectue la plupart de ses missions équipé de sa tenue-feu, c'est-à-dire pantalon et veste résistants à la chaleur. Lorsque le pompier part en intervention pour incendie, il porte la tenue suivante.

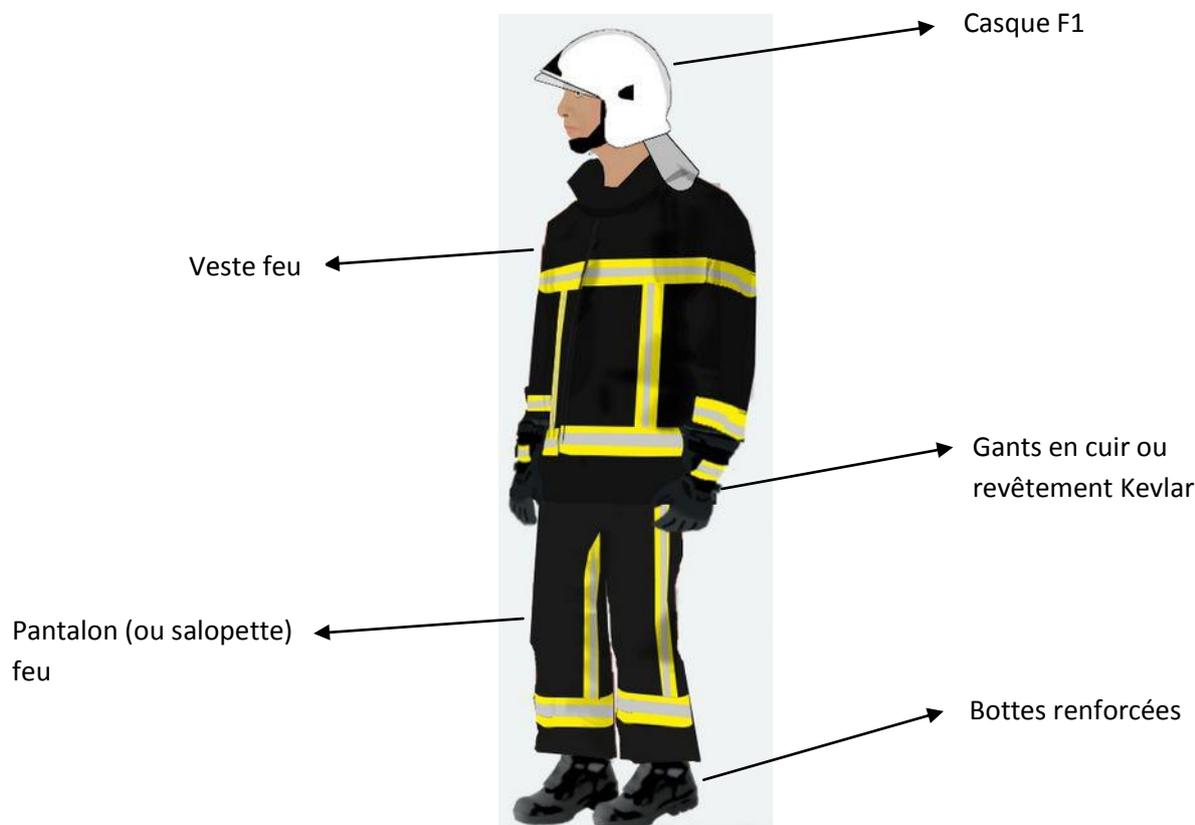


Figure 2 - Tenue d'intervention. Equipement du SP lorsqu'il combat le feu. <http://www.swiss-firefighters.ch/forum/viewtopic.php?f=33&t=2609&hilit=phoenix+veste+montreux+test>

2.1.2 Normes

Afin de garantir un niveau de sécurité satisfaisant qui assure une bonne protection, des normes européennes relatives aux vêtements de protection ont été mises en place. La norme qui fait aujourd'hui office de référence est la norme EN 469 datant de 2006. Chaque pays membre du Comité Européen de Normalisation (CEN) est tenu d'appliquer et de respecter les normes adoptées par le CEN. Il faut préciser qu'une norme est elle-même basée sur d'autres normes qui elles s'appliquent à chaque constituant de la veste et ce séparément. Que ce soient les bandes réfléchissantes présentes sur les vestes pour une meilleure visibilité ou la membrane rendant la veste imperméable ou encore le tissu extérieur ignifuge ; chacun de ces éléments est soumis à des exigences fixées par une commission de normalisation. De plus, cette norme définit également la façon dont les

¹ FSSP, Aide-mémoire : *Formation de base des sapeurs-pompiers*, Berne, FSSP Edition, 1996.

différents composants doivent être testés². La plupart des « sous-normes » s’appliquent, dans le cas échéant, au textile utilisé comme couche extérieure, ce qui est tout-à-fait logique compte tenu du fait qu’il est exposé directement à la chaleur, aux projections de produits chimiques, aux risques de déchirure ; il se doit donc de résister aux différents types d’altération. En ce qui concerne les vestes-feu, ce matériau est un aramide.

2.1.3 Tenue en aramide

Comme dit plus haut, le tissu extérieur utilisé dans la confection des vestes est l’élément le plus important. Sans ce dernier, il n’y aurait aucune protection thermique, voire aucune protection du tout, car la veste serait plutôt un imperméable. Je reviendrai par la suite sur ce sujet, afin d’étudier plus précisément les différentes « couches » qui composent une veste feu. Le matériau choisi pour ce type de veste est donc un aramide. Là encore, je traiterai ce sujet plus en profondeur dans un prochain chapitre, en abordant notamment la façon d’obtenir un tel tissu.

2.1.4 Définition de l’aramide

Un aramide est une substance organique³. Le mot aramide est une contraction de l’anglais « aromatic polyamide »⁴. Un polyamide aromatique est un polymère dont la chaîne présente des répétitions structurales dans laquelle les amides sont contenus. De plus, il contient également des composés aromatiques, c’est-à-dire des systèmes cycliques^{5,6}. Le schéma ci-dessous permettra de mieux se représenter cette molécule et sa forme.

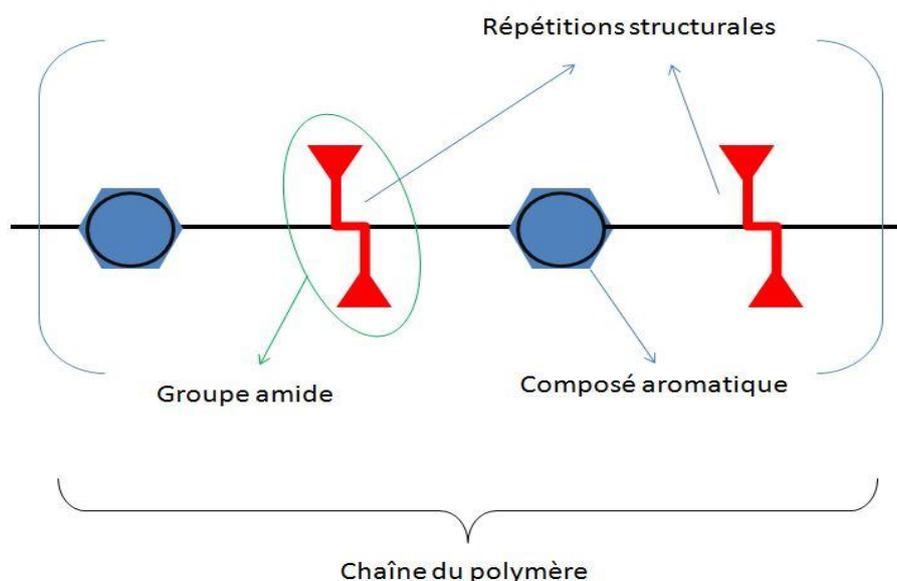


Figure 3 - Polyamide. Schéma représentant un polyamide. Document personnel

² AFNOR, NF EN 469, s.l., AFNOR, 2006.

³ http://www.futura-sciences.com/fr/definition/t/chimie-2/d/polymere_803/

⁴ <http://fr.wikipedia.org/wiki/Aramide>

⁵ http://www.futura-sciences.com/fr/definition/t/chimie-2/d/polyamide_2887/

⁶ http://www.futura-sciences.com/fr/definition/t/chimie-2/d/aromatique_4110/

2.2 Couche extérieure

2.2.1 Fibres

Avant d'arriver au résultat final qu'est le textile appelé Nomex, il y a un certain nombre d'étapes. La première est l'obtention des fibres d'aramide. On cherche donc à obtenir des fibres spécifiques, dites fibres polymères, qui ont la particularité d'avoir des chaînes allongées en ligne droite et rangées côte à côte de façon parallèle. De cette façon, on rend possible la fabrication de fils et donc de textiles par la suite. Il est nécessaire que les polymères soient dits cristallins, c'est-à-dire qu'ils présentent une structure ordonnée et régulière pour permettre la formation de fibres. En effet, les chaînes peuvent ainsi s'arranger et des liaisons entre elles se former, ce qui assure leur maintien. En d'autres termes, une fibre n'aura qu'une très faible tendance, voire une tendance inexistante à s'allonger du fait que les chaînes sont solidement maintenues⁷. Cela explique pourquoi les fibres sont utilisées dans la fabrication de fils ou de cordes.

2.2.2 Fibres d'aramide spécifiques

Le tissu Nomex (à ne pas confondre avec la fibre Nomex) contient en réalité deux types d'aramide : le Nomex et le Kevlar (je reviendrai sur ce sujet et expliquerai les raisons de ce « mélange »)⁸. Ils font partie de la famille des nylons. Ils ont tous 2 des structures qui diffèrent légèrement, ce qui modifie fortement leurs caractéristiques. Le Nomex offre une bonne résistance thermique, tandis que le Kevlar offre de bonnes propriétés mécaniques (résistance à la traction). Pour le Kevlar, les groupes amides sont reliés aux carbones 1 et 4 des cycles aromatiques (liaison para), tandis que pour le Nomex, ce sont les carbones 1 et 3 (liaison méta). Les fibres d'aramide sont de très bonnes fibres et cela n'est pas sans lien avec la présence de cycles aromatiques dans les molécules des ces polymères⁹.

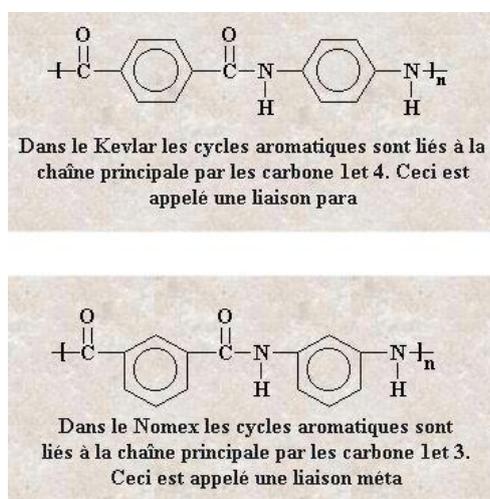


Figure 4 - Aramides. Structures du Kevlar et du Nomex. <http://pslc.ws/french/aramid.htm>

⁷ <http://pslc.ws/french/fiber.htm>

⁸ DuPont, Protection supérieure contre les risques thermiques, *Les applications de DuPont Nomex pour les travailleurs industriels*, s.l., DuPont, 2008.

⁹ <http://pslc.ws/french/aramid.htm>

Les amides peuvent adopter 2 formes différentes : trans et cis.

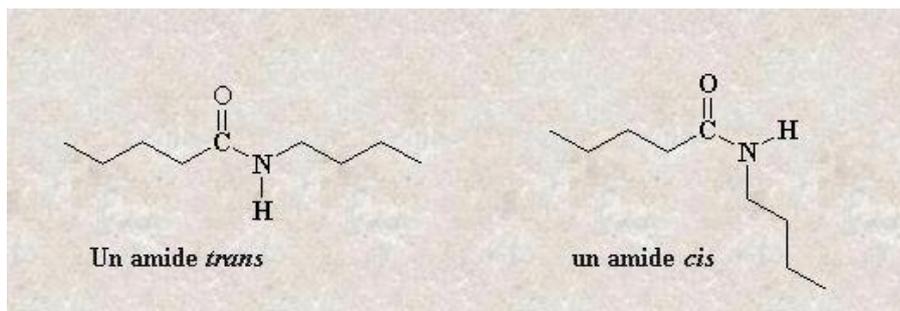


Figure 5 - Conformation. Conformations possible de l'amide. <http://pslc.ws/french/aramid.htm>

En adoptant la forme trans, l'amide permet à la chaîne d'être parfaitement droite. Lorsqu'il est sous la forme cis, la chaîne est « tordue », ce qui n'est pas optimal pour la formation de fibres (voir chapitre Fibres)¹⁰.

Le fonctionnement est le même pour les polyamides. Pour ce qui est du Nomex et du Kevlar, il y a une particularité. En effet, ils contiennent des cycles aromatiques qui rendent la conformation cis impossible. C'est une question de disposition : lorsque le polyamide adopte la conformation cis, les hydrogènes reliés au système cyclique n'ont pas de place. De ce fait, le Kevlar et le Nomex adoptent la plupart du temps la forme trans, ce qui explique pourquoi ce sont d'excellentes fibres¹¹.

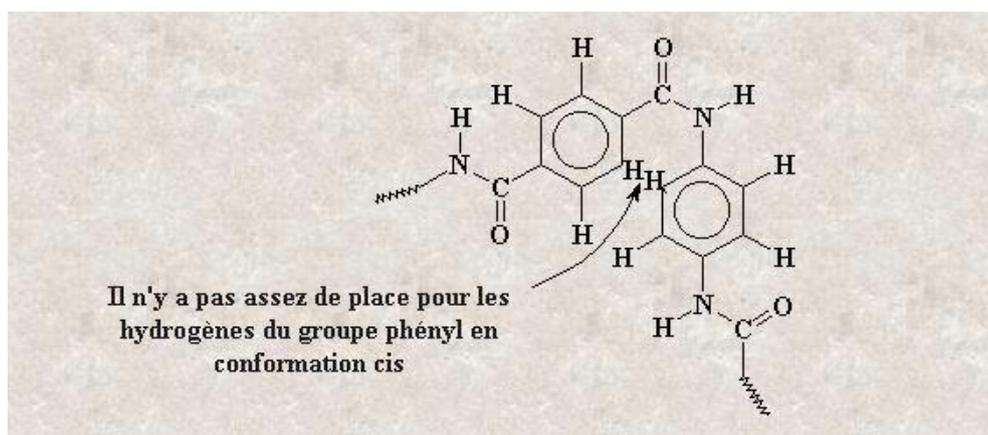


Figure 6 - Conformation trans. La place manque pour les hydrogènes. <http://pslc.ws/french/aramid.htm>

2.2.3 Composition chimique

Le Nomex est obtenu par polycondensation de méta-phénylènediamine [$C_6H_4(NH_2)_2$] et de dichlorure d'acide isophtalique [$C_6H_4(COCl)_2$] dans un solvant organique. Le Kevlar est

¹⁰ <http://pslc.ws/french/aramid.htm>

¹¹ <http://pslc.ws/french/aramid.htm>

obtenu de la même façon, cependant, on utilise du para-phénylènediamine [$C_6H_4(NH_2)_2$] et du dichlorure d'acide téréphtalique [$C_6H_4(COCl)_2$]¹².

On obtient donc la même formule pour le Nomex et pour le Kevlar : $(CO-C_6H_4-CO-NH-C_6H_4-NH)_n$ ¹³. Comme expliqué plus haut, la différence réside dans le fait que les amides sont différemment reliés au noyau benzénique.

On observe sur ce schéma que cette réaction provoque aussi la formation de chlorure d'hydrogène.

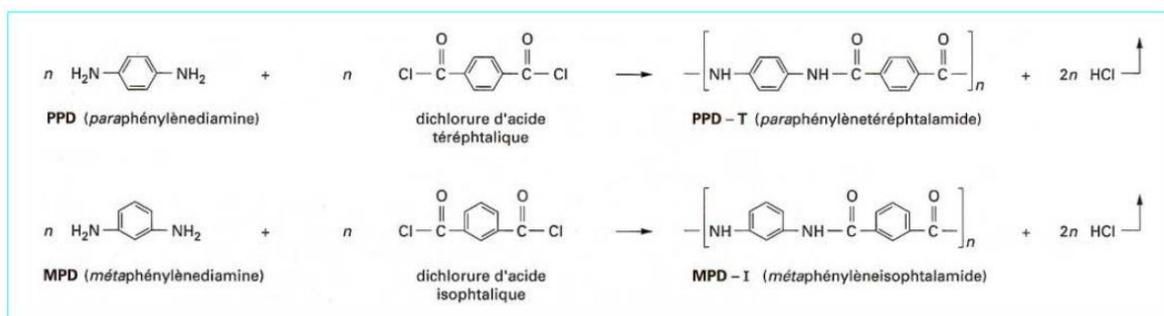


Figure 7 - Fabrication des aramides. Réactions chimiques.

http://ingemeca.org/docs/genie_mecanique/Mat%E9riaux/Plastiques%20et%20composites/Composites/Charges%20et%20fibres%20de%20renforcement/Fibres%20aramides%20pour%20mat%E9riaux%20composites.pdf

2.3 Fabrication des fibres et tissus

2.3.1 Obtention des fibres

Une fois les 2 aramides créés, il faut les transformer en fibres (forme définitive), car cela ne se fait pas naturellement. La première étape est le filage. Pour ce faire, on dissout les polymères dans un puissant acide (acide sulfurique), ce qui a pour conséquence de changer complètement l'orientation des molécules. Le liquide est ensuite mis sous pression afin de l'obliger à passer dans une filière (qui n'est autre que des fins capillaires). C'est ce qu'on appelle l'extrusion. De cette façon, on donne la même orientation à toutes les molécules du polymère et on facilite les liaisons entre les chaînes, ce qui améliore ses propriétés physiques. On obtient comme résultat final un fil continu qu'on a lavé à l'eau, neutralisé et sur lequel on a appliqué un ensimage qui renforce la cohésion du fil et facilite les opérations futures¹⁴. On découpe ensuite ce fil pour obtenir des fibres plus ou moins courtes.

Il existe une autre méthode de filage également utilisée pour les polyamides qui consiste à étirer les fibres brutes de polymère à chaud afin de modifier l'état structural de ce

¹²http://ingemeca.org/docs/genie_mecanique/Mat%E9riaux/Plastiques%20et%20composites/Composites/Charges%20et%20fibres%20de%20renforcement/Fibres%20aramides%20pour%20mat%E9riaux%20composites.pdf

¹³ Information transmise par M. Durussel

¹⁴http://ingemeca.org/docs/genie_mecanique/Mat%E9riaux/Plastiques%20et%20composites/Composites/Charges%20et%20fibres%20de%20renforcement/Fibres%20aramides%20pour%20mat%E9riaux%20composites.pdf

dernier. En analysant la structure de plus près, on se rend compte que par ce procédé, on donne à toutes les chaînes plus ou moins la même orientation, contrairement à l'état structural initial¹⁵. Une fois de plus, le parallélisme est synonyme de liaisons secondaires entre les chaînes.

2.3.2 Obtention du fil définitif

Pour tisser, il est nécessaire de fabriquer un nouveau fil composé de fibres courtes. Le principe est le même que pour le filage traditionnel avec un fuseau : on tord les fibres ensemble afin d'accroître leur résistance¹⁶. Les cordes sont fabriquées de la même façon : ce qui fait leur résistance est le nombre de torsions que l'on a effectuées. A la base, ce sont des fibres de chanvre tordues ensemble pour former un fil, puis des fils tordus les uns avec les autres pour former un fil plus épais et ainsi de suite jusqu'à l'obtention d'une corde. Moins il y a de torsions, moins un fil sera résistant.

Le fil continu obtenu après extrusion aurait très bien pu être utilisé pour le tissage, cependant, comme je viens de l'expliquer, il reste relativement fragile car fin, d'où l'intérêt de le découper en fibres et de les réassembler ensuite par la méthode du filage textile.

2.3.3 Obtention du tissu

La dernière étape consiste donc à tisser une étoffe à l'aide des 2 fils obtenus : le Nomex et le Kevlar. Je ne développerai pas ce sujet, car il s'agit d'un tissage conventionnel (2 armures principalement : toile et satin). Cependant, il me semble nécessaire d'expliquer pourquoi nous utilisons 2 polyamides différents. Du fait de leurs structures, ils possèdent des propriétés physiques différentes. Le Kevlar a une très bonne résistance à la traction, s'use lentement et est léger, ce qui explique son utilisation dans la fabrication des gilets-pare-balles. Le Nomex, lui, résiste très mal à la traction. Si l'on fabriquait un tissu avec comme unique matière première un méta-aramide, on obtiendrait un tissu qui se déchire facilement, ce qui n'est pas acceptable pour un EPI de catégorie III (veste feu). Par contre, le Nomex possède de bonnes propriétés thermiques, notamment la température à laquelle il peut être longuement exposé ou sa température de dégradation (bien que le Kevlar partage ces caractéristiques)¹⁷.

En alliant ces 2 aramides, on obtient un tissu qui réunit les propriétés des 2 matériaux premiers : un tissu qui résiste à la chaleur, aux produits chimiques dans une limite raisonnable (il existe bien entendu des tenues spécifiques pour chaque catégorie de produits chimiques, en fonction de leur toxicité, etc), qui se déchire difficilement et qui est léger. J'ai moi-même tenté de déchirer ce tissu, c'est impossible à la main et difficilement faisable avec un ciseau conventionnel.

¹⁵ http://www.ineris.fr/ippc/sites/default/interactive/bref_text/breftext/francais/bref/chap_02_02.htm

¹⁶ http://fr.wikipedia.org/wiki/Filage_textile

¹⁷ <http://pslc.ws/french/aramid.htm>

Je voudrais quand même ajouter qu'en réalité, un troisième élément entre dans la fabrication du tissu Nomex : un fil antistatique. Celui-ci empêche l'électricité statique de s'accumuler sur le vêtement¹⁸. Cependant, cet élément n'a pas d'influence sur les caractéristiques techniques du tissu, si ce n'est celle que je viens d'évoquer.

2.3.4 Comparaison des 2 fibres

J'ai exclu la fabrication du tissu à partir de méta-aramide exclusivement, mais pas en ce qui concerne le para-aramide. Je vais donc le faire dans ce chapitre. Pour ce faire, je vais comparer ces 2 fibres à l'aide du tableau ci-dessous.

	Méta-aramide	Para-aramide		
	(1)	Bas module (2)	Haut module (3)	Copolymère (4)
Masse volumique (g/cm ³)	1,38	1,44	1,45	1,39
Résistance en traction (MPa)	700 à 850	2 760	2 760	3 400
Module de traction (GPa)	12 à 20	58	120	73
Allongement à la rupture (%)	15 à 30	3,3	2,4	4,5
Capacité thermique (kJ · kg ⁻¹ · K ⁻¹)	1,2	1,4	1,4	1,4
Conductivité thermique (W · m ⁻¹ · K ⁻¹)	0,13	0,05	0,05	0,05
Taux d'humidité (5) (%)	4,6	7	3,5	3
Indice d'oxygène limite (6) (20 à 27)	20 à 27	29	29	25
Coefficient de dilatation thermique (K ⁻¹)	2 x 10 ⁻⁵	- 3,5 x 10 ⁻⁵	- 3,5 x 10 ⁻⁵	- 4 x 10 ⁻⁵

(1) Nomex[®] de DuPont et Conex[®] de Teijin.
(2) Kevlar 29[®] de DuPont et Twaron[®] de Akzo.
(3) Kevlar 49[®] de DuPont et Twaron HM[®] de Akzo.
(4) Technora[®] de Teijin.
(5) À l'équilibre, à 20 °C et 65 % HR (humidité relative).
(6) IOL mesuré selon la méthode normalisée ISO 4589-1984 (cf. article Essais de réaction au feu [A 3 540], dans ce traité).

Figure 8 - Propriétés techniques. Propriétés des différentes fibres d'aramide.

http://ingemeca.org/docs/genie_mecanique/Mat%E9riaux/Plastiques%20et%20composites/Composites/Charges%20et%20fibres%20de%20renforcement/Fibres%20aramides%20pour%20mat%E9riaux%20composi

On voit clairement que le Kevlar a une meilleure résistance en traction (environ 4 fois meilleure), comme dit plus haut. Cependant, le tableau expose des données qui peuvent paraître paradoxales. C'est le cas pour la capacité thermique (quantité d'énergie qu'il faut apporter au matériau pour que sa température augmente d'un degré)¹⁹. Pour une même masse et une même augmentation de la température, la quantité d'énergie à apporter sera moins élevée pour le Nomex que pour le Kevlar. Cela signifie que pour une même quantité d'énergie fournie au matériau, le Nomex aura une température plus élevée que le Kevlar.

Cela se vérifie par un simple calcul (dt_{Kevlar} et dt_{Nomex}).

C = capacité thermique ; E = Energie apportée ; m = masse de substance ; dT = différence de température. La formule pour la capacité thermique est :

$$C = \frac{E}{m * dT} \quad \text{donc} \quad dT = \frac{E}{C * m}$$

¹⁸ DuPont, Protection supérieure contre les risques thermiques, *Les applications de DuPont Nomex pour les travailleurs industriels*, s.l., DuPont, 2008.

¹⁹ http://fr.wikipedia.org/wiki/Capacit%C3%A9_thermique

$$dt_K = \frac{1200}{1.4 * 2} \cong 428.57 K \sim 155.57^\circ C$$

$$dt_N = \frac{1200}{1.2 * 2} \cong 500 K \sim 227^\circ C$$

Le calcul montre clairement que le Nomex chauffe plus pour une même quantité d'énergie apportée (1200 kJ).

Nous pouvons également constater dans ce tableau que le Nomex conduit mieux la chaleur que le Kevlar. De plus, la température de décomposition/carbonisation du Nomex n'est pas à son avantage, 370°C contre 480°C pour le Kevlar²⁰. A priori, la fibre de Kevlar serait capable de remplacer le Nomex. Alors comment expliquer le fait que l'on utilise 2 fibres pour fabriquer le tissu Nomex ?

Lorsqu'on compare les coefficients de dilatation thermique des 2 fibres, on s'aperçoit qu'un des coefficients est négatif, celui du Kevlar. Cela veut dire que lorsqu'il est exposé à la chaleur, il se contracte. A l'inverse, le Nomex se dilate. Or, de façon générale, on ressent moins la chaleur à travers un tissu épais. Cet élément joue également un rôle dans le fonctionnement du tissu, j'en parlerai dans le prochain chapitre. Donc, en définitive, le Nomex a toute son utilité dans les tenues destinées aux sapeurs-pompier, car il partage certaines propriétés du Kevlar et son comportement à la chaleur est très intéressant.

2.3.5 Fonctionnement du tissu Nomex

Ce tissu fonctionne en quelque sorte comme un airbag. Lorsque vous avez un accident de voiture, l'airbag se déclenche pour vous protéger et vous éviter des blessures trop conséquentes. De la même façon, le tissu va réagir comme un mécanisme de protection lorsque la température ambiante devient trop élevée. J'ai déjà abordé le sujet plus haut, le tissu Nomex se carbonise autour des 427°C et possède la capacité de se dilater sous l'effet de la chaleur²¹. Il faut préciser qu'un matériau ignifuge n'est pas forcément incombustible. Il faut cependant que sa température de dégradation soit suffisamment élevée pour qu'il soit considéré comme tel²². De plus, il doit s'éteindre de lui-même. Le tissu va donc jouer le rôle de « mur » protecteur contre la chaleur en s'épaississant et ainsi éviter au pompier des brûlures au troisième degré.

Il faut malgré tout garder un regard critique sur son fonctionnement, car dans la réalité, un pompier sera rarement confronté à de telles températures. Les méthodes utilisées lors des interventions permettent de considérablement baisser la température et de ce fait, on observera une carbonisation des tenues plutôt dans des cas extrêmes. Cependant, cela n'enlève rien aux propriétés du tissu mises en évidence dans les précédents paragraphes.

²⁰ <http://www.dpp-europe.com/-rubrique1511-.html?lang=fr>

²¹ <http://www.youtube.com/watch?v=LK7m3oJ8pio&feature=relmfu>

²² Information transmise par M. Durussel

2.4 Vestes

2.4.1 Les différentes couches

Jusqu'ici, je n'ai parlé que du tissu extérieur de la veste feu. Bien que ce dernier soit la plus importante des couches en terme de protection, il ne faut pas oublier les autres qui, elles aussi, apportent un réel plus à la veste. A ce jour, deux types de vestes sont utilisés par les pompiers suisses, du moins romands. Les images ci-dessous les illustrent.

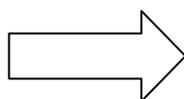


Figure 7 - Veste feu. Ancien modèle. Document personnel

Figure 8 - Nouvelle veste. Modèle récent.
http://www.pompiers-neuchatel.ch/fic_fichiers/Tenue%20de%20feu%20cantonale.pdf

Le premier modèle était jusqu'en 2000 très prisé, il était le modèle de référence. Puis dès 2000, un autre modèle est arrivé sur le marché. Ce dernier est aujourd'hui devenu la nouvelle référence. Au-delà de l'apparence (sujet qui sera traité par la suite), il y a des dissemblances sur le plan technique. On peut aussi noter une nette différence quant à la visibilité apportée par les bandes réfléchissantes : elles sont nettement meilleures sur le modèle récent (le critère de visibilité a très clairement son importance dans le quotidien des SP, ils doivent être vus pour ne pas risquer d'être percutés sur une route, de nuit, par exemple). L'illustration qui suit montre de façon schématique les différentes couches qui composent ces 2 modèles.

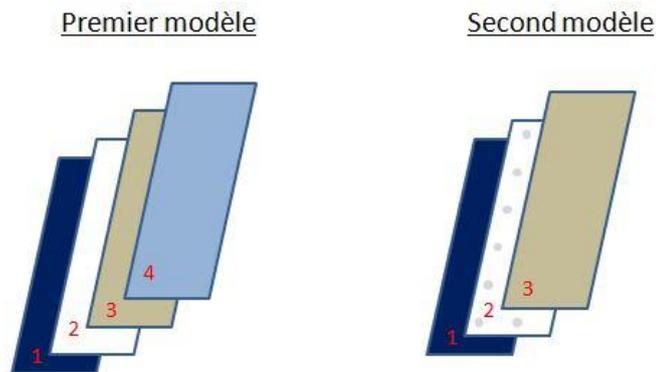


Figure 9 - Couches. Les différentes couches qui composent une veste feu. Document personnel

Premier modèle :

- 1) Tissu extérieur – il assure la protection thermique (voir chapitre obtention du tissu).
- 2) Membrane appelée barrière d'étanchéité – il s'agit là-encore d'un polymère (polytétrafluoroéthylène ou polyuréthane, apparentés au Gore-Tex) qui empêche tout transfert de liquide de l'extérieur vers l'intérieur de l'EPI.
- 3) Feutre – Le feutre comme la laine est un bon isolant thermique, d'où son utilisation dans les EPI.
- 4) Tissu intérieur – Composé d'aramides ou de 50% d'aramides et de 50% de viscose. Il s'agit d'une question de confort, plus que de réelle protection.

Second modèle :

- 1) Tissu extérieur – même tissu que pour le précédent modèle.
- 2) Barrière d'étanchéité – il s'agit toujours d'un polymère, mais on y a intégré des « espaceurs » (technologie Airlock de Gore-Tex par exemple)²³. Leur rôle est d'éviter que le tissu extérieur et la membrane soient plaqués l'un contre l'autre, on crée donc un espace. De cette façon, l'air peut s'y loger et jouer le rôle d'isolant.
- 3) Tissu intérieur – même tissu que pour le précédent modèle.

Il existe également une variante en ce qui concerne les « espaceurs ». Ils peuvent aussi être cousus sur le tissu intérieur. Ce sont de fines bandes horizontales qui jouent le même rôle que les « billes » intégrées dans la membrane.

L'air a donc remplacé le feutre, ce qui rend la veste feu moins lourde. Elle est également plus souple et plus agréable. Cependant, le feutre est un meilleur isolant thermique que l'air (vérification dans l'expérience qui suit). De ce fait, on obtient une veste qui offre une protection thermique légèrement inférieure. Cependant, comme je l'ai expliqué

²³ <http://www.gore-workwear.co.uk/remote/Satellite/2.3.1-AIRLOCK-Insulation/2.3.1-AIRLOCK-Insulation?sectorid=1173326935021>

auparavant, il est rare que le pompier soit exposé à des températures extrêmes, donc ce « désavantage » pèse relativement peu sur la balance comparé au gain de mobilité et d'ergonomie procuré par cette évolution.

2.4.2 Expérience – l'air comme isolant

L'air en tant qu'isolant, c'est ce que j'ai souhaité vérifier dans cette expérience. Pour ce faire, j'ai utilisé 2 plaques de cuivre que j'ai fixées sur 2 statifs. J'ai fait en sorte que les plaques soient suffisamment proches pour simuler les mêmes conditions qu'avec les « espaceurs ». J'ai ensuite utilisé un bec bunsen afin de chauffer une des plaques et mesuré la température de la deuxième plaque avec un thermomètre digital. L'image ci-dessous illustre le montage.

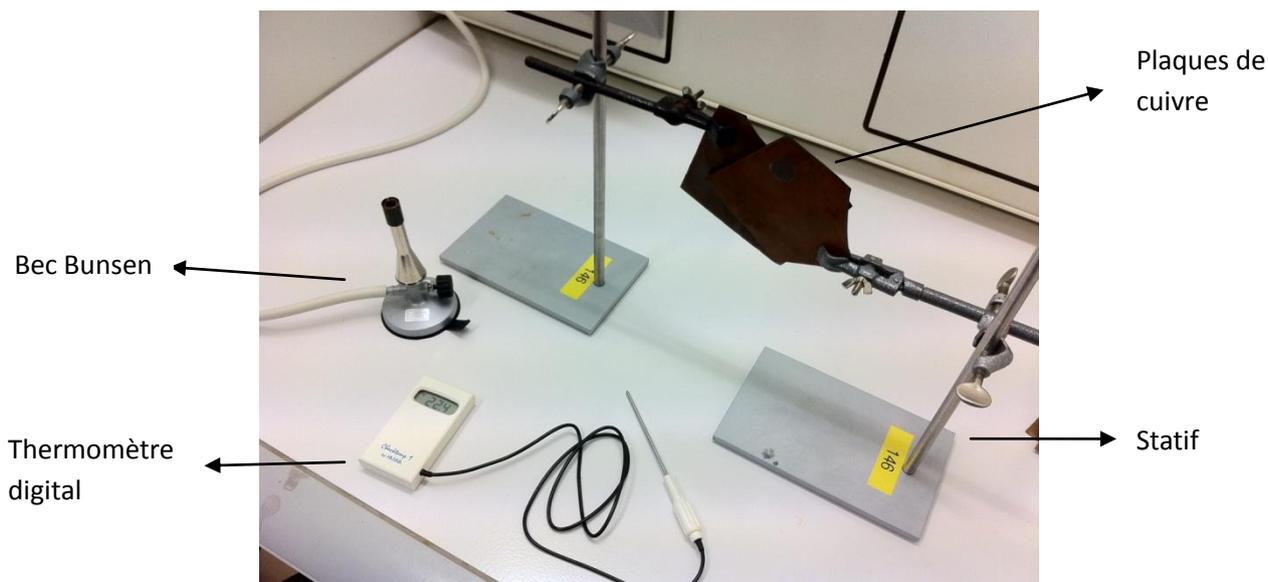


Figure 10 - Montage. Montage utilisé pour l'expérience. Document personnel

Je ne me suis pas contenté de vérifier cela, j'ai également fait l'expérience avec un morceau de feutre que j'ai intercalé entre les 2 plaques de cuivre.



Figure 11 - Feutre comme isolant. Ici le feutre orange entre 2 plaques de cuivre. Document personnel

Bien entendu, cette expérience a été réalisée avec les moyens du bord. Autrement dit, les résultats sont très approximatifs. Cependant, ils sont suffisamment précis pour cette expérience. Les résultats sont présentés dans ce tableau.

Matériau	Température plaque 1 chauffée [°C]	Température plaque 2 [°C]	Température entre les plaques [°C]
Air	+150	130	+150
Feutre	+150	100	+150

Le thermomètre digital était malheureusement limité à 150°C. Cependant, on peut facilement affirmer que la température de la plaque 1 pendant le chauffage était bien supérieure à 200 degrés. On peut donc en tirer comme conclusion que l'air joue bel et bien un rôle d'isolant thermique. De plus, on vérifie également que le feutre isole plus efficacement de la chaleur.

2.4.3 Tests

Avant d'être commercialisées, les vestes, ou plutôt les tenues sont testées. Ces tests sont réalisés dans des centres spécialisés comme l'Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA). Il est malheureusement difficile de savoir de quelle façon les tests sont menés, car ces laboratoires coopèrent difficilement et ne transmettent pour ainsi dire pas d'information. Cependant, on peut imaginer que les tenues soient testées comme dans des conditions réelles, voire extrêmes, car de nos jours, seule la performance compte. Cela inclurait donc les projections d'acides et l'étude du comportement suite à cette projection, la résistance à la traction/perforation, l'imperméabilité de la veste, la résistance des coutures, l'évacuation de la transpiration (bien qu'aucune membrane ne respire mieux que la peau) et bien entendu le comportement de la tenue aux flammes et à la chaleur.

La compagnie DuPont de Nemours a mis au point 2 tests relatifs aux EPI. Le premier consiste à exposer de façon continue un échantillon à une chaleur radiante et convective avec un flux thermique constant. Ce test mesure le temps et l'énergie thermique requis pour causer des brûlures du deuxième degré sur le porteur de l'EPI. En d'autres termes, il met en évidence la capacité d'isolation du tissu. Le second test mis au point par la société est un test sur mannequin appelé « Thermo-Man ». Le mannequin est équipé de 122 capteurs. Une fois l'EPI installé sur le mannequin, il est complètement entouré de flammes. La température peut atteindre 1000°C. Le rôle des capteurs va être de relever les températures sous l'EPI. Un logiciel va ensuite déterminer quelles seront les parties du corps brûlées au deuxième et troisième degré, le pourcentage de ces brûlures et

également prédire les chances de survie de la victime si cet accident s'était réellement produit²⁴.

Il est important de rappeler que ce qui fait la qualité d'un ensemble, ce ne sont pas les bons résultats des différents composants aux tests, mais bel et bien les bons résultats de la tenue dans son ensemble.

2.4.4 Différents composants à disposition

Bien entendu, comme pour tout produit ou presque, il existe des alternatives. Il en va de même pour le tissu extérieur et intérieur, ainsi que pour la barrière d'étanchéité. En ce qui concerne le tissu extérieur, il en existe 4 ou 5 sur le marché suisse, du moins ce sont les principaux. Parmi eux, nous pouvons citer le Twin de marque Kermel ou encore le Conex de Teijin. Ce sont tous des tissus composés de para et méta-aramide, cependant ce ne sont pas les mêmes que pour le Nomex. Leurs structures changent, les produits utilisés pour les fabriquer sont différents. De ce fait, il est impossible de les comparer, car chaque fabricant a sa propre « recette » et tous se vantent d'avoir créé une fibre qui est la meilleure en termes de protection.

De même que pour le tissu extérieur, il existe plusieurs membranes, 2 principalement en Suisse : le polyuréthane ou le polytétrafluoroéthylène (PTFE). Différentes compagnies proposent différentes alternatives.

Pour ce qui est du tissu intérieur, là-encore, il en existe plusieurs sachant qu'ils contiennent des polyamides et qu'il existe plusieurs fabricants. Ce tissu peut être composé d'aramides à 100% ou peut également être composé de viscose à hauteur de 50%.

Sur le plan international, il existe une multitude de produits destinés aux EPI. Tous ont des avantages, qualités et inconvénients les uns par rapport aux autres.

2.4.5 Différentes combinaisons

Comme je l'ai dit plus haut, ce qui compte, ce sont les résultats des tests d'une tenue dans son ensemble. Malheureusement, lorsqu'on élabore une tenue, le choix des produits n'est pas toujours objectif, car il y a des facteurs tels que le coût, les partenariats ou encore les offres qui peuvent nous faire dévier de la principale tâche qui est de créer un EPI qui garantisse le plus haut niveau de protection. Ainsi, on allie différents produits, on fait tester l'ensemble dans des laboratoires spécialisés, on en obtient des résultats satisfaisants et on le conserve tel quel, sans réellement chercher à l'améliorer en testant d'autres matériaux à la place d'un de ceux que nous avons choisis à la base.

²⁴ DuPont, Protection supérieure contre les risques thermiques, *Les applications de DuPont Nomex pour les travailleurs industriels*, s.l., DuPont, 2008.

La solution afin d'obtenir le meilleure EPI possible serait de tester toutes les combinaisons possibles. Cependant, cela devient vite onéreux pour un seul et même fabricant. Le mieux serait de créer une commission à cet effet. De la sorte, les pompiers auraient à disposition des EPI « transparents ».

2.5 Réalité

2.5.1 Connaissances des sapeurs-pompiers

J'ai pris l'initiative de créer un formulaire concernant les vestes feux destinés aux sapeurs-pompiers. Sur les 51 personnes ayant répondu, 18 ont pu nommer une marque de tissu extérieur ou la fibre d'aramide, ce qui équivaut à 35%. A la question « Savez-vous combien de couches composent votre veste ? », 37 personnes ont répondu par la négative. Sur les 14 personnes restantes, 9 ont annoncé le bon nombre et seulement 4 ont su expliquer le rôle de ces différentes couches, le pourcentage atteint moins de 10%. Il en va de même pour ce qui est du temps de fuite (temps entre le moment où le pompier sent la chaleur sur son corps et le moment où il est brûlé), il n'est pas connu, alors qu'il a tout de même son importance. Ce questionnaire révèle donc que de manière générale, les pompiers ne connaissent pas leur équipement d'un point de vue technique. Bien entendu, il est difficile de généraliser en s'appuyant sur les réponses d'une cinquantaine de personnes. Peut-être que sur 1000 personnes, ce pourcentage atteindrait 20%, mais comme pour tout sondage, il faut faire avec les résultats à disposition.

Une personne m'a répondu que des centaines de personnes conduisaient sans connaître le fonctionnement d'un moteur à explosion et que cela n'était pas un problème, avis que je partage totalement. Cependant, le moteur n'est pas un élément garantissant leur sécurité. Comme éléments de sécurité, nous pouvons citer l'airbag ou plus simplement la ceinture, et je suis certain que ces mêmes conducteurs connaissent le principe de l'airbag. Bien entendu, c'est une question de curiosité également. Je pense que la confiance que les SP témoignent aux fournisseurs et constructeurs est aussi une explication qu'on peut donner à ce faible pourcentage. Je reste malgré tout surpris de voir que cela intéresse peu les porteurs des EPI, car il en va de leur sécurité. De plus, en connaissant ces éléments, les sapeurs pourraient participer à l'amélioration des tenues en amenant de nouvelles idées.

2.5.2 Critères importants

Dans ce questionnaire, j'ai également demandé aux participants de dresser une liste des critères que doit réunir la veste feu idéale. On retrouve souvent parmi les réponses les éléments suivants : résistance à la chaleur, aux flammes et aux déchirures, forme ergonomique, poids (bonne répartition), visibilité et longévité. Il y a clairement une notion de confort à côté de l'aspect protection. De la même façon qu'un sportif sera

meilleur en portant des habits dans lesquels il se sent bien, le sapeur pourra intervenir plus efficacement s'il porte un EPI confortable.

A la notion de confort, nous pouvons ajouter celle de l'apparence. En effet, il faut garder en tête que les EPI sont des vêtements et qu'il y a donc aussi une forme de mode pour ces tenues. Bien entendu, le marché n'est pas le même, il n'existe pas de collections, etc. Cependant, la question du design reste importante. Comme pour tout uniforme, celui des SP évolue dans une société où l'apparence joue un rôle primordial et dans laquelle il faut séduire l'œil. De nos jours, les corps de pompiers veulent des effectifs qui présentent bien, qui soient beaux en définitive.

Afin de vérifier cela, j'ai demandé aux personnes sondées de choisir une possibilité de compromis entre protection et design (100% protection, 75% protection et 25% design, 50/50% et 25/75%). 22 pompiers ont choisi l'option 100% protection, 18 l'option 75/25% et 11 l'option 50/50%. Les résultats parlent d'eux-mêmes, 29 personnes attachent de l'importance à l'apparence à hauteur de 25%.

Pour ce qui est de porter une veste de couleur vert-pomme (en ayant précisé qu'il s'agit de la meilleure veste en termes de sécurité), 80% approuveraient. Ceci s'explique également par le fait que le vert-pomme ou lemon sont des couleurs très visibles, contrairement au bleu (tenues) et rouge (camions). Paradoxalement, en Suisse romande, on conserve ces 2 couleurs qui reflètent l'identité des sapeurs-pompiers, on y est donc attachés. En Suisse allemande, on voit la chose d'une autre manière. Les corps sont équipés de tenues de couleurs, alors qu'en Romandie, on les réserve au commandant ou chef d'intervention. Pour ce qui est des camions, certains corps sont équipés de véhicules jaunes/verts, c'est le cas notamment de Zürich.



Figure 12 - Camion tonne-pompe. Camion zurichois de couleur verte.
<http://www.berufsfeuerwehr.ch/technik/fahrzeuge/tlf03/fahrzeugtlf03.htm>

2.5.3 Confection

Lorsqu'un corps décide de s'équiper de nouvelles tenues, il rédige un cahier des charges qu'il transmet à un fournisseur. La plupart du temps, 80% du texte concerne la confection du vêtement. Par confection, j'entends le nombre de poches, les accessoires tels les supports pour gants (passant qui sert à suspendre ses gants à la hauteur de la poche). Les 20% restants ne font qu'aborder l'aspect technique mais de façon peu rigoureuse et incorrecte. On attache de l'importance aux détails (hauteur de la poche par exemple), mais on ne dresse pas de liste des attentes techniques que l'on a, ce qui est paradoxal. Une fois de plus, l'apparence et la praticité prime. C'est donc au fournisseur de trouver le produit qui corresponde en termes de sécurité, mais qui réponde aussi aux autres attentes du client.

Le nombre de poches semble être un critère très important pour les pompiers romands. On y met des aide-mémoires, des couteaux, des outils légers, parfois même porte-monnaie ou téléphone ainsi que clés. Autant d'éléments qui peuvent présenter un danger en cas d'intervention. En effet, un objet métallique va facilement stocker de l'énergie et se mettre à chauffer. Pour des questions de sécurité, il serait donc préférable de ne pas avoir de poches, comme c'est le cas à Paris.

Un sujet qu'il est également intéressant d'évoquer est le prix. Bien entendu, toutes les exigences ou modifications ont un prix. Pour une veste conventionnelle récente, il faut compter facilement 500 CHF. Ce prix varie ensuite en fonction de la volonté du client. Comme pour tout produit, lorsqu'on cherche à l'améliorer, il faut y mettre le prix. Plus un client est satisfait du résultat, plus la somme qu'il sera prêt à déboursier sera conséquente. Cela fonctionne de la même façon lorsqu'il s'agit d'un EPI. Le sujet reste tabou, car le contribuable paie en partie ces tenues et donc les modifications apportées sur ce dernier (modifications pas toujours nécessaires, mais plutôt agréables).

2.5.4 Une tenue adaptée

Pour ce qui est des pompiers de Lausanne, ils ont effectué un total de 2147 interventions durant l'année 2010, dont 547 pour feu, ce qui équivaut à 25% des interventions²⁵. Autrement dit, les tenues feu ne sont pas toujours adaptées au type de sinistre. Pour une désincarcération par exemple, une tenue feu sera encombrante, lourde et gênera le pompier dans ses gestes. Il en va de même pour le sauvetage ou les interventions techniques. Ainsi, on peut se demander si ces EPI sont réellement adaptés aux besoins des SP dans toutes les situations. L'idée d'avoir plusieurs tenues à disposition n'est pas nouvelle. Cependant, les budgets limitent les achats et écartent cette idée.

²⁵ Informations communiquées par le SPSL Lausanne

2.5.5 Législation

Comme je l'ai déjà dit, tous les sapeurs-pompiers suisses ont l'obligation de porter des tenues ayant été normalisées EN 469. Il est important de préciser que cette normalisation concerne la tenue dans son ensemble, autrement dit veste et pantalon. Malgré cela, certains corps achètent une veste à un fournisseur et un pantalon à un autre fournisseur. Pourquoi ? Les raisons peuvent être nombreuses, prix, préférences, etc. Bien entendu, cela ne représente pas un réel danger, mais d'un point de vue législatif, cela peut se retourner contre le porteur, bien que ce ne soit quasiment jamais le cas en cas d'accident.

2.5.6 Uniformité

Comme je l'ai dit, chaque corps est libre de choisir son équipement. Il a pour seule contrainte le respect de la norme en vigueur. Ainsi, il n'y a aucune uniformité cantonale, ni même régionale et encore moins fédérale. Si l'on prend l'exemple de la police sur le plan romand, on remarque que les cantons disposent du même uniforme. Ces 2 services sont directement liés à l'Etat et pourtant, les pompiers à l'opposé des policiers ont une image différente d'une ville à l'autre alors qu'ils remplissent les mêmes missions. Comment expliquer cela ? Je me pose moi-même la question. On peut également prendre l'exemple d'un pays proche et pas des moindres, l'Italie : tous les sapeurs-pompiers disposent du même équipement, tous les sapeurs-pompiers portent la même tenue. Pourquoi l'Etat ou du moins le canton n'impose-t-il pas un type de tenue ? La question reste une énigme.

2.5.7 Evolution

Le Nomex a été inventé en 1967. Forcément, la fibre a quelque peu évolué. Avec le temps, DuPont a acquis une meilleure maîtrise de cette fibre et l'a ensuite mariée au Kevlar (inventé en 1971).

Que peut-on dire de l'évolution des vestes lors de ces 10-15 dernières années ? En ce qui concerne le tissu extérieur, il n'a pas réellement évolué. Le tissu était déjà un acquis et aucune firme n'a cherché à développer un autre matériau qui réunisse les propriétés du Nomex et du Kevlar. Si les changements ne se sont pas opérés sur le tissu, cela a été le cas pour la veste dans son ensemble. L'évolution s'est plutôt faite d'un point de vue ergonomique et stylistique. La disparition du feutre (remplacé par la nouvelle technologie Airlock – espaceurs) a clairement allégé la tenue, la forme a été modifiée pour donner une plus grande liberté de mouvement ainsi qu'une image plus moderne et finalement, un gros effort a été fourni pour améliorer la visibilité.

Quel est la prochaine étape ? L'objectif principal futur est de trouver un tissu plus léger qui couvre aussi bien que le Nomex les besoins des pompiers, de sorte à gagner encore en mobilité, en confort et en ergonomie. Cette évolution sera certainement rendue possible grâce aux recherches en sciences des matériaux (par les experts de multinationales

comme DuPont ou universitaire peut-être). Le matériau sera difficilement autre qu'un fruit de la chimie.

3. Conclusion

En définitive, lorsqu'on s'intéresse de près à tous les éléments de la veste feu, on s'aperçoit que bon nombre d'entre eux, si ce n'est tous, sont des produits de la chimie. Les polyamides en ce qui concerne la couche extérieure, le polyuréthane ou PTFE pour la barrière d'étanchéité et les polyamides à nouveau pour le revêtement intérieur. La réponse qu'on peut donc donner à la problématique est la suivante : elle contribue à leur sécurité en leur fournissant des solutions de protection contre les différents dangers auxquels ils sont quotidiennement exposés. De ce fait, elle joue un rôle prédominant en ce qui concerne la sécurité des pompiers. Sans chimie, ces polymères n'existeraient pas et l'équipement ne serait pas ce qu'il est aujourd'hui. La chimie a donc su tirer parti de matériaux ayant des structures complexes aux propriétés surprenantes pour faire évoluer les EPI de façon significative.

Voici venu le moment de tirer le bilan de ce travail. Je suis dans l'ensemble très satisfait du résultat, car j'ai le sentiment d'avoir dit tout ce que j'avais à dire. Je pensais également que je serais confronté à de grosses difficultés de compréhension quant à l'aspect théorique ayant trait à la chimie, mais au final, j'ai été surpris de voir que ça n'avait pas été le cas.

Je dois tout de même avouer avoir été très déçu au début de ce travail. Mon idée première était de créer un échantillon de veste feu, fort de mes connaissances préalablement acquises (comprendre pour créer), puis de le tester et de l'améliorer en fonction des résultats. Malheureusement, c'était une tâche beaucoup trop onéreuse et qui nécessitait trop de temps pour espérer en faire un TM. J'ai donc dû me réorienter vers un travail plus théorique. Aujourd'hui, plus aucune trace d'amertume, j'ai apprécié traiter le sujet de cette manière.

Je suis très content d'avoir eu l'opportunité d'écrire ce travail de maturité sur un sujet qui me touche personnellement. Sachant que je fais moi-même partie du monde des sapeurs-pompiers et que je serai tout prochainement intégré parmi les adultes, cela m'a beaucoup intéressé.

J'aurais pu en complément m'intéresser de plus près aux structures des autres aramides comme le Conex, également à celle des polymères utilisés pour la barrière d'étanchéité. Cela aurait été possible en ayant mieux géré mon temps. Cependant, j'ai préféré limiter mon travail pour ne pas m'attaquer à un sujet trop vaste.

J'ajouterai que j'espère pouvoir transmettre ces connaissances à d'autres pompiers intéressés par la suite, car cela reste un sujet peu connu. C'est sur ce souhait que je conclus ce dossier.

Bibliographie

Livres

LACHNITT, Jacques, Les hautes températures, Paris : Presses universitaires de France, 1961, Que sais-je.

Sites internet

- Fibres aramides pour matériaux composites, [en ligne], http://ingemeca.org/docs/genie_mecanique/Mat%E9riaux/Plastiques%20et%20composites/Composites/Charges%20et%20fibres%20de%20renforcement/Fibres%20aramides%20pour%20mat%E9riaux%20composites.pdf, le 27 octobre 2011.

Document PDF réunissant des connaissances techniques quant aux aramides.

- Aramides, [en ligne], <http://pslc.ws/french/aramid.htm>, le 27 octobre 2011.

Il s'agit d'un site qui traite de la structure des aramides.

- Au cœur de la science avec Futura-Sciences, [en ligne], <http://www.futura-sciences.com>, le 27 octobre 2011.

Site internet ayant trait aux différentes sciences. Utile pour certaines définitions.

- DuPont de Nemours, [en ligne], <http://www2.dupont.com>, le 27 octobre 2011.

Site officiel de la société DuPont de Nemours. Il contient des informations relatives au Kevlar et au Nomex.

- DuPont personal protection (Europe), [en ligne], <http://www.dpp-europe.com>, le 27 octobre 2011.

Site officiel de DuPont de Nemours destiné aux solutions d'équipement personnel.

- Rappels de chimie organique et introduction à la chimie des polymères, [en ligne], <http://coaching.epfl.ch/files/content/sites/coaching/files/users/180559/private/Cours%20chimie%20organique%202009-2010.pdf>, le 27 octobre 2011.

Cours destiné au coaching EPFL sur la chimie organique et les polymères.

- Les fibres, [en ligne], <http://pslc.ws/french/fiber.htm>, le 27 octobre 2011.

Il s'agit d'un site qui traite du sujet des fibres, de leur structure, etc.

- Aramid fiber – KERMEL, [en ligne], <http://www.directindustry.com/prod/kermel/aramid-fibers-32329-242323.html>, le 27 octobre 2011.

Site présentant les fibres de marque Kermel.

- Technical guide Kevlar, aramid fiber, [en ligne],

http://www2.dupont.com/Kevlar/en_US/assets/downloads/KEVLAR_Technical_Guide.pdf, le 27 octobre 2011.

Document PDF qui fournit des informations techniques relatives au Kevlar.

- Dupont introduces innovative Nomex on demand, [en ligne],

<http://www.youtube.com/watch?v=LK7m3oJ8pio&feature=relmfu>, le 27 octobre 2011.

Plate-forme de partage vidéo YouTube ; vidéo dans laquelle le principe de fonctionnement du Nomex est expliqué.

- 2.2 Fabrication des fibres : fibres chimiques (synthétiques et artificielles), [en ligne],

http://www.ineris.fr/ippc/sites/default/interactive/bref_text/breftext/francais/bref/chap_02_02.htm, le 27 octobre 2011.

Site expliquant les différentes méthodes d'obtention des fibres.

- Google, [en ligne], <http://www.google.ch/>, le 27 octobre 2011.

Outil de recherche internet.

- Wikipédia, [en ligne], http://fr.wikipedia.org/wiki/Wikip%C3%A9dia:Accueil_principal, le 27 octobre 2011.

Encyclopédie libre et vaste. Utile pour certaines définitions. Cependant, à utiliser avec modération, car peu fiable suivant le sujet ou l'auteur.

Autres

DUPONT, Protection supérieure contre les risques thermiques : Les applications de DuPont Nomex pour les travailleurs industriels, s.l. : DuPont, 2008.

AFNOR, NF EN 469, s.l. : AFNOR, 2006. (Norme européenne concernant les EPI de catégorie III).

Table des illustrations

Figure 1 - Flamme 3. Dernier grade cadet. Document personnel.....	3
Figure 2 - Tenue d'intervention. Equipement du SP lorsqu'il combat le feu. http://www.swiss-firefighters.ch/forum/viewtopic.php?f=33&t=2609&hilit=phoenix+veste+montreux+test	5
Figure 3 - Polyamide. Schéma représentant un polyamide. Document personnel	6
Figure 4 - Aramides. Structures du Kevlar et du Nomex. http://pslc.ws/french/aramid.htm	7
Figure 5 - Conformation. Conformations possible de l'amide. http://pslc.ws/french/aramid.htm ...	8
Figure 6 - Conformation trans. La place manque pour les hydrogènes. http://pslc.ws/french/aramid.htm	8
Figure 7 - Fabrication des aramides. Réactions chimiques. http://ingemeca.org/docs/genie_mecanique/Mat%E9riaux/Plastiques%20et%20composites/Composites/Charges%20et%20fibres%20de%20renforcement/Fibres%20aramides%20pour%20mat%E9riaux%20composites.pdf	9
Figure 8 - Propriétés techniques. Propriétés des différentes fibres d'aramide. http://ingemeca.org/docs/genie_mecanique/Mat%E9riaux/Plastiques%20et%20composites/Composites/Charges%20et%20fibres%20de%20renforcement/Fibres%20aramides%20pour%20mat%E9riaux%20composi	11
Figure 9 - Couches. Les différentes couches qui composent une veste feu. Document personnel .	14
Figure 10 - Montage. Montage utilisé pour l'expérience. Document personnel	15
Figure 11 - Feutre comme isolant. Ici le feutre orange entre 2 plaques de cuivre. Document personnel	15
Figure 12 - Camion tonne-pompe. Camion zurichois de couleur verte. http://www.berufsfeuerwehr.ch/technik/fahrzeuge/tlf03/fahrzeugtlf03.htm	19

Annexes

Evaluation pantalon PHOENIX

Points généraux	Mauvais	Peu satisfaisant	Satisfaisant	Bon	Excellent	Pas d'opinion
Confort / ergonomie	1%	5%	16%	57%	20%	1%
Esthétisme / allure générale	0%	1%	7%	51%	39%	2%
Poids	0%	4%	25%	58%	12%	1%
Couleur	0%	0%	4%	56%	34%	6%

Points techniques	Mauvais	Peu satisfaisant	Satisfaisant	Bon	Excellent	Pas d'opinion
Accessoires (poches - fermeture éclair canons)	7%	16%	20%	38%	15%	4%
Bandes réfléchissantes (qualité - emplacement)	2%	5%	16%	44%	28%	5%
Renforts de genoux	0%	9%	15%	47%	28%	1%
Système de bretelle	2%	5%	19%	42%	30%	2%

Satisfaction globale	Mauvais	Peu satisfaisant	Satisfaisant	Bon	Excellent	Pas d'opinion
Appréciation du produit dans sa globalité	1%	1%	19%	63%	12%	4%

Evaluation veste PHOENIX

Points généraux	Mauvais	Peu satisfaisant	Satisfaisant	Bon	Excellent	Pas d'opinion
Confort / ergonomie	1%	4%	16%	64%	15%	0%
Esthétisme / allure générale	0%	1%	1%	39%	58%	1%
Longueur	4%	9%	20%	41%	26%	0%
Poids	0%	7%	28%	49%	15%	1%
Couleur	0%	0%	3%	48%	46%	3%

Points techniques	Mauvais	Peu satisfaisant	Satisfaisant	Bon	Excellent	Pas d'opinion
Accessoires (poches - supports gants)	25%	27%	25%	17%	6%	0%
Bandes réfléchissantes (qualité - emplacement)	2%	7%	13%	50%	25%	3%
Renforts d'épaules	0%	1%	11%	61%	25%	2%
Renforts de coudes	1%	0%	9%	63%	23%	4%

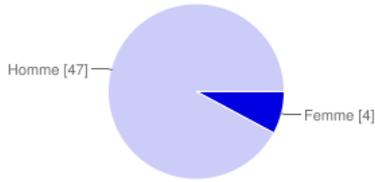
Satisfaction globale	Mauvais	Peu satisfaisant	Satisfaisant	Bon	Excellent	Pas d'opinion
Appréciation du produit dans sa globalité	2%	4%	21%	65%	8%	0%

Questionnaire	Pourcentage
Réponses au questionnaire	61%

51 réponses

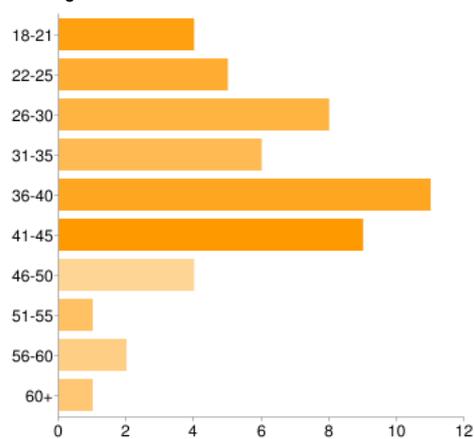
Résumé [Afficher les réponses complètes](#)

Votre sexe



Femme	4	8%
Homme	47	92%

Votre âge



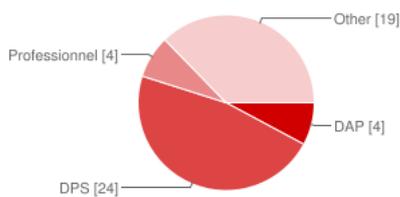
18-21	4	8%
22-25	5	10%
26-30	8	16%
31-35	6	12%
36-40	11	22%
41-45	9	18%
46-50	4	8%
51-55	1	2%
56-60	2	4%
60+	1	2%

Votre canton

Valais Valais valais valais Valais

VS Valais vd Vaud Fribourg Vaud neuchatel Vaud Vaud Vaud Vaud vd Vaud Vaud NE VD NE vd vaud Vaud VD Vaud vaud vaud VD vaud

Votre "statut"



DAP	4	8%
DPS	24	47%
Professionnel	4	8%
Other	19	37%

Votre expérience dans le monde des sapeurs-pompiers

8ans 9 ans 25 5 5 ans 20 3 ans 2ans 7 2 ans 10 ans 10 12 15 ans 3 ans 3 ans (adulte) + 4 ans (JSP) 10 ans 11 ans 21 9 ans 25 ans 17 11 12 ans 25 ans 15 ans 40 ans 2 ans 3 ans 28 ans 15 ans 23 22 ans 18 4 15 ans 18 10 ans 14 ans 10 ans 10 2 ...

Votre activité

50 30 100 6 10 20 2 à 4 Environ 200 40 5 20 20 50 4 100 100 5 60 30 15 50 à 70 20 150 40 180 100 350 10 100 140 45 20 50 100 20 100 DPS:450 - Perso :200 90 15 2 25 0 Officier EM env.20 à 30 30 45 15 70 à 90 20 10 10

Vos interventions pour incendie

8 8 50 2 2 10 2 10- 15 15 3 8 2 15 0 20 10 01/02/2011 5 5 5 5 6 10 8 ? 40 120 1 5 30 25 4 8 12 6 15 20 10 3 1 1 0 2 5 à 10 en moyenne 6 3 3 15 environ 5 5 4

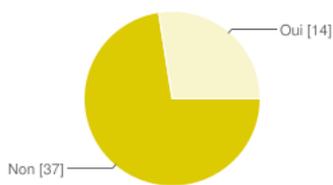
Quel type de "veste-feu" portez-vous ?

Modèle long Veste Teled de 2002 Teled désolé je ne connais pas le modèle mais dans le corp du CSI A sion on a tous les mêmes... Modèle d'il ya cinq ans environ, bleu avec des bandes grises et jaunes. Teled pro-tec 0534 ? Modèle récent TELED pro-tec S.A., Neuchâtel Compact line 2 EN 469 Veste ancienne longue La veste de l'eca, model "actuel". Pas le nouveau quoi, on ne l'a pas encore reçue. Modèle 'normal' on a pas encore touché les nouvelles avec les bandes jaunes fluo Modèle récent: vêtements d'intervention TIGER fournit par GROWAG. veste courte, ceinturon incorporé. Modèle récent, fabricant Tacco ...

Selon vous, quelle est la matière utilisée pour la couche extérieure de votre veste ?

Kevelar inconnue ? goretex Aramid ? 100% Aramid Gore tex aucune idée Goretex Normex 100% Nomex keVlar je n'en sais rien ... Nomex Beuh... aucune idée Nomex peut être je sais pas, mais inifuge! fils ignifugés Kermel? Nom ...

Savez-vous combien de couches composent votre veste ?



Non	37	73%
Oui	14	27%

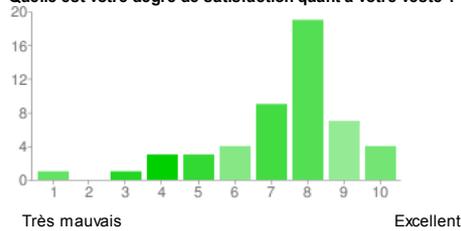
Si oui, combien ? Et connaissez-vous leurs rôles respectifs ?

? 2 couches, l'extérieur protège contre inflammation et l'intérieur protection thermique. ... 2 Je crois Feu et Gortex aucune idée car j'ai bien d'autres choses à savoir pour instruire les pompiers de ce pays qui travaille encore avec d'anciennes techniques et de vieux règlements désuets. Combien de femme conduite une voiture et ne connaisse pas le fonctionnement d'une moteur à explosion ? Des centaines et cela n'est pas un problème non 2, Une doublure pour la protection thermique et une pour la protection feu? 3, mais leur rôle... http://www.pompiers-neuchatel.ch/fic_fichiers/Tenue%20de%20feu%20ca ...

Savez-vous à quoi correspond le temps de fuite ?

non non non non ? non non non non ... Non Question pas assez précise, oui, non oui et non Non oui, sauf que le temps dépend de l'humain et pas du matériel non Je ne l'ai pas en mémoire Aucune idée non Evaporation de la ...

Quelle est votre degré de satisfaction quant à votre veste ?

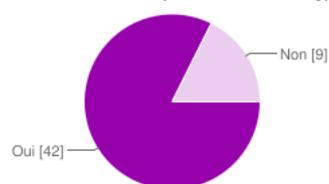


1 - Très mauvais	1	2%
2	0	0%
3	1	2%
4	3	6%
5	3	6%
6	4	8%
7	9	18%
8	19	37%
9	7	14%
10 - Excellent	4	8%

Justifiez votre note

Résiste bien a la chaleur seul défaut tros longue Quelques défauts de la veste feu: - Trop longue (gêne dans certains mouvements) - Mal dessinée (poid reparti sur le col et non sur les épaules - Col ne protegeant pas suffisamment - Résistant très mal à l'eau (veste s'alourdi très rapidement) Qualité: - Bandes réfléchissantes très visible - Poche intérieur, poche pour radio, ... Connais pas d'autre elle est lourde et peu ergonomique (certains mouvements sont limité) D'assez bonne qualité pas encore d'accroc et facile à porter. Ne gêne pas trop dans les mouvements mais très chaude en été. Poches ex ...

Trouvez-vous votre veste adaptée aux différents types d'interventions ?



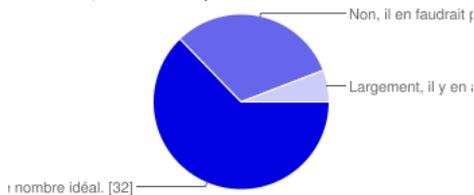
Oui	42	82%
Non	9	18%

Si non, pourquoi ?

Trop grosse, longue et epaisse non je dois mettre un chasuble 50% du temps, après je dois l'enlever pour faire les interventions sanitaire/inondation. En fait elle est utile que pour le feu, ce qui arrive le moins souvent. On peut pas faire toutes les missions avec un seul type de veste et sur route avec un gillet fluo par dessus, c'est pas pratique et si on va au feu ensuite il fond sur la veste et elle ne joue plus sont role. Un peu chaude pour les désincarcérations

est une veste feu Ce n'est pas une veste inondation, ascenseur, pionnier, pollution, ... Ce que je veux dire, c'est que le f ...

Selon vous, le nombre de poches est-il suffisant ?

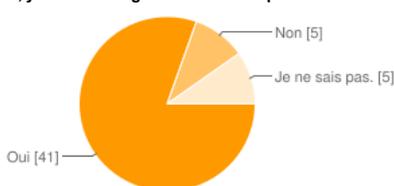


Oui, le nombre idéal.	32	63%
Non, il en faudrait plus.	16	31%
Largement, il y en a même trop.	3	6%

Quel est votre ressenti lorsque vous êtes confronté au feu ?

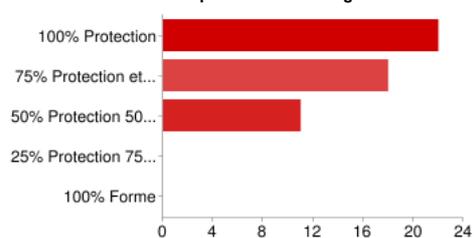
Protège mais faire attention Je me sens protéger et ai confiance en ma veste feu même si je voudrais une protection supplémentaire au niveau du cou. bonne protection je me sens protégé Pas peur d'aller au feu avec. me sent très bien protégé. Le système de fermeture du col par velcro est à revoir réglage impossible et l'eau rentre dans le col Je me sens protégé Je me sens protégé mais pas au maximum je pense pas trop au matériel car je lui fais 100% confiance. La sécurité est très réglementée. Donc même en cas de sinistre important on peut être rassuré Très bonne isolation thermique, dans les deux sens ...

Selon vous, y a-t-il eu une grande évolution quant aux vestes-feu ces 10 dernières années ?



Oui	41	80%
Non	5	10%
Je ne sais pas.	5	10%

Votre veste doit-elle être protectrice ou design ?

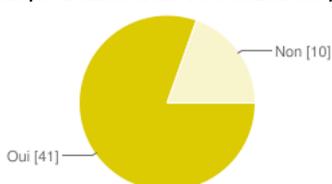


100% Protection	22	43%
75% Protection et 25% Forme	18	35%
50% Protection 50% Forme	11	22%
25% Protection 75% Forme	0	0%
100% Forme	0	0%

Citez par ordre d'importance les critères que votre veste "idéale" doit réunir.

1. Forme (veste courte, poids bien réparti sur les épaules, liberté de mouvements) 2. Résistance aux températures 3. Résistance aux intempéries (pluie, projection d'eau) 4. Visibilité 5. Longévité 6. Accessoires (poches nombreuses, support radio, fixation pour gants, ...) hautes températures, poids, résistance, forme, longévité résistance aux hautes températures, résistance à la déchirure, longévité, visibilité, forme Protection feu antitranspirante résistance hautes T° visibilité poids résistance déchirure forme longévité Elle doit être courte légère visible relativement robuste sans être trop rigide ...

Seriez-vous prêt à endosser une veste couleur vert-pomme lors de vos interventions si celle-ci était la meilleure en termes de sécurité ?



Oui	41	80%
Non	10	20%

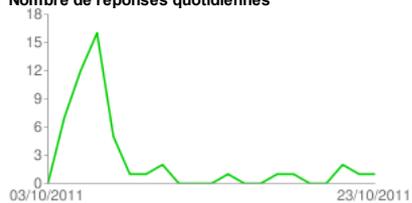
Si non, pourquoi ?

Je tiens à une image sobre des sapeurs pompiers Les matériaux sont quand même disponible dans des "couleurs pompiers". Il faut aussi garder son identité. Parce que le vert-pomme ne correspond pas à l'identité visuelle des SP. Il y a risque de confusion avec d'autres partenaires tels que la Protection Civile et l'Armée. On se moque pas bien mal de la forme et de la couleur, l'important est la sécurité et le confort de l'utilisateur. Oui lémon est le meilleur couleur en terme de visibilité pour les automobilistes, c'est prouvé par plusieurs études, mais les CH et en particulier les Vaudois ach ...

Combien avez-vous eu de vestes depuis votre entrée dans les pompiers ?

3 - seulement une 2 - une seule - une celle que j'ai actuellement 1 stamoïde 1 moderne 1 - 1 veste 3 toujours vestes feu ECA du meme type 2 (1 au Dap 1 au Dps) 2 'normales' 3 - cirée - veste feu avec double couche (thermique et ignifugé) - la veste actuelle. 2, Teled et veste actuelle 2 ,téled +l'actuelle 2 2, la meme que toi et la nouvelle de montreux. 1 1 Toile cirée Veste feu standard Veste feu en test depuis 2010 Veste feu avec protection anti-coupe (tronçonneuse) en test ECA des dizaines depuis 1990 date de mon incorporation, mais si la question porte sur les modèles différents, je pense 4 à 5 modèles. 1 Simpli ...

Nombre de réponses quotidiennes



**NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD**

EN 469

Décembre 2005

ICS : 13.340.10

Remplace EN 469:1995

Version française

**Vêtements de protection pour sapeurs pompiers —
Exigences de performance pour les vêtements de protection
pour la lutte contre l'incendie**

Schutzkleidung für die Feuerwehr —
Leistungsanforderungen für Schutzkleidung
für die Brandbekämpfung

Protective clothing for firefighters —
Performance requirements
for protective clothing for firefighting

La présente Norme européenne a été adoptée par le CEN le 22 juillet 2005.

Les membres du CEN sont tenus de se soumettre au Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, qui définit les conditions dans lesquelles doit être attribué, sans modification, le statut de norme nationale à la Norme européenne.

Les listes mises à jour et les références bibliographiques relatives à ces normes nationales peuvent être obtenues auprès du Centre de Gestion ou auprès des membres du CEN.

La présente Norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Une version dans une autre langue faite par traduction sous la responsabilité d'un membre du CEN dans sa langue nationale et notifiée au Centre de Gestion, a le même statut que les versions officielles.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants : Allemagne, Autriche, Belgique, Chypre, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède et Suisse.

CEN

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Europäisches Komitee für Normung
European Committee for Standardization

Centre de Gestion : rue de Stassart 36, B-1050 Bruxelles

Sommaire

	Page
Avant-propos	4
Introduction	5
1 Domaine d'application	5
2 Références normatives	5
3 Termes et définitions	6
4 Conception générale du vêtement	8
4.1 Généralité	8
4.2 Désignation des tailles	8
4.3 Type de vêtements	8
4.4 Combinaison d'articles d'habillement	8
4.5 Ensemble externe en deux pièces	8
4.6 Barrière anti-capillarité	9
4.7 Accessoires	9
4.8 Équipement de protection individuelle intégré (EPI)	9
5 Échantillonnage et traitement préalable	9
6 Exigences	9
6.1 Propagation de flamme	9
6.2 Transfert de chaleur — Flamme	10
6.3 Transfert de chaleur — Rayonnement	10
6.4 Résistance résiduelle du matériau exposé à une source de chaleur radiante	11
6.5 Résistance thermique	11
6.6 Résistance à la traction	11
6.7 Résistance au déchirement	11
6.8 Mouillage superficiel	11
6.9 Variation dimensionnelle	11
6.10 Résistance à la pénétration de produits chimiques liquides	12
6.11 Résistance à la pénétration de l'eau	12
6.12 Résistance à la vapeur d'eau	12
6.13 Exigences ergonomiques	12
6.14 Visibilité	13
6.15 Essai facultatif — essai sur l'article d'habillement complet	13
7 Marquage	13
8 Notice d'utilisation du fabricant	14
Annexe A (normative) Incertitudes de mesures	15
Annexe B (normative) Exigences de visibilité	16
Annexe C (informative) Estimation de blessure par brûlure en utilisant un mannequin instrumenté ...	17
Annexe D (informative) Vérification des caractéristiques ergonomiques de base des vêtements de protection — Essai pratique de la performance	19

Sommaire (fin)

	Page
Annexe E (informative) Méthode d'essai pour les articles d'habillement complets	21
Annexe F (informative) Risques physiologiques/stress thermique	34
Annexe G (informative) Guide pour l'évaluation des risques	35
Annexe H (informative) Guide relatif aux risques électriques	40
Annexe ZA (informative) Relation entre la présente Norme européenne et les exigences essentielles de la Directive UE 89/686 CEE Équipement de Protection Individuelle	41
Bibliographie	43