



**HAL**  
open science

# Comparaison de l'astreinte thermique induite par les appareils respiratoires isolants de grande capacité à circuit-ouvert et à circuit-fermé chez les sapeurs-pompiers

Vincent Monnoir

► **To cite this version:**

Vincent Monnoir. Comparaison de l'astreinte thermique induite par les appareils respiratoires isolants de grande capacité à circuit-ouvert et à circuit-fermé chez les sapeurs-pompiers. Médecine humaine et pathologie. 2017. dumas-01623919

**HAL Id: dumas-01623919**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01623919>**

Submitted on 25 Oct 2017

**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.

THÈSE PRÉSENTÉE  
POUR OBTENIR LE GRADE DE

**DOCTEUR DE  
L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX**

ÉCOLE DOCTORALE : SCIENCE DE LA VIE ET DE LA SANTÉ  
SPÉCIALITÉ : DES DE MÉDECINE DU TRAVAIL

Par Vincent MONNOIR

**COMPARAISON DE L'ASTREINTE THERMIQUE INDUITE  
PAR LES APPAREILS RESPIRATOIRES ISOLANTS DE  
GRANDE CAPACITÉ À CIRCUIT-OUVERT ET À CIRCUIT-  
FERMÉ CHEZ LES SAPEURS-POMPIERS**

Sous la direction de : François PANTALONI

Soutenue le 10 octobre 2017

Membres du jury :

Mme BALDI, Isabelle	PU-PH	CHU-Bordeaux	Président
M. BROCHARD, Patrick	PU-PH	CHU-Bordeaux	Examineur
M. DRUET-CABANAC, Michel	PU-PH	CHU-Limoges	Examineur
Mme ESQUIROL, Yolande	PH	CHU-Toulouse	Examineur
Mme VERDUN-ESQUER, Catherine	PH	CHU-Bordeaux	Examineur
M. PANTALONI, François	Dr	SDIS 33	Examineur



THÈSE PRÉSENTÉE  
POUR OBTENIR LE GRADE DE

**DOCTEUR DE**  
**L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX**

ÉCOLE DOCTORALE : SCIENCE DE LA VIE ET DE LA SANTÉ  
SPÉCIALITÉ : DES DE MÉDECINE DU TRAVAIL

Par Vincent MONNOIR

**COMPARAISON DE L'ASTREINTE THERMIQUE INDUITE  
PAR LES APPAREILS RESPIRATOIRES ISOLANTS DE  
GRANDE CAPACITÉ À CIRCUIT-OUVERT ET À CIRCUIT-  
FERMÉ CHEZ LES SAPEURS-POMPIERS**

Sous la direction de : François PANTALONI

Soutenue le 10 octobre 2017

Membres du jury :

Mme BALDI, Isabelle	PU-PH	CHU-Bordeaux	Président
M. BROCHARD, Patrick	PU-PH	CHU-Bordeaux	Examineur
M. DRUET-CABANAC, Michel	PU-PH	CHU-Limoges	Examineur
Mme ESQUIROL, Yolande	PH	CHU-Toulouse	Examineur
Mme VERDUN-ESQUER, Catherine	PH	CHU-Bordeaux	Examineur
M. PANTALONI, François	Dr	SDIS 33	Examineur

# REMERCIEMENTS

Aux membres du jury, de me faire l'honneur de juger mon travail.

Au Pr PAIRON, pour avoir accepté d'être mon rapporteur.

Au médecin Colonel Philippe BOUFFARD, de m'avoir confié ce travail.

Au Colonel Dominique MATHIEU, ainsi qu'aux membres du CHSCT, d'avoir accepté la réalisation de cette étude.

Aux Capitaines Thomas MIMIAGUE et Arnaud SALVET, au Lieutenant Richard ARNAUD, dont la disponibilité a grandement facilité l'organisation de ce travail.

Aux sapeurs-pompiers du SDIS 33 ayant participé avec enthousiasme et sérieux aux manœuvres de l'étude.

Aux infirmiers du SSSM qui ont assuré le soutien sanitaire opérationnel au cours des manœuvres.

Au médecin Colonel François PANTALONI, directeur de thèse, qui par ses encouragements et précieuses corrections m'a aidé à mener et finaliser cette thèse dans la sérénité.

Au service médical du CNPE du Blayais et tout particulièrement le Dr LANDRY, pour le prêt du matériel de mesure.

A mes amis, de lycée, de hockey, de médecine, de bordeaux ou d'ailleurs, qui m'ont permis de mieux supporter ces longues études.

A Charles, qui grâce à ses traductions bien senties, commence à se faire une réputation dans le domaine médical.

A Jean-Marie, sans qui je n'aurais sans doute jamais eu la moyenne en biophysique en P1. La boucle est bouclée, c'est le moment de profiter !

A Maria et Joseph, pour leur accueil et sympathie.

A Jeanne, ma grand-mère, aussi généreuse qu'espiègle. J'aurais aimé que tu sois présente aujourd'hui.

A ma sœur, pour ses encouragements.

A mes parents, pour les valeurs qu'ils m'ont transmises, pour leur soutien sans faille et l'amour qu'ils m'ont témoigné. Je suis fier de vous ressembler.

A Martine, pour ta patience, ton soutien, ta joie de vivre. Notre « Voyage » ne fait que commencer !

# SOMMAIRE

REMERCIEMENTS .....	2
SOMMAIRE .....	4
TABLE DES FIGURES .....	6
TABLE DES TABLEAUX .....	7
LISTE DES ABREVIATIONS.....	8
<b>PREMIERE PARTIE</b> .....	10
1. INTRODUCTION .....	11
2. LES SAPEURS-POMPIERS .....	13
2.1. ORGANISATION DES SAPEURS-POMPIERS EN FRANCE .....	13
2.2. LES SITUATIONS DE TRAVAIL DES SAPEURS-POMPIERS.....	14
2.3. LES RISQUES ET CONTRAINTES DES INTERVENTIONS : LEURS CONSEQUENCES SUR LA SANTE DES SAPEURS-POMPIERS.....	15
2.4. APTITUDE MEDICALE DES SAPEURS-POMPIERS.....	16
2.5. <b>RESUME</b> – LES SAPEURS-POMPIERS .....	22
3. LE SERVICE DEPARTEMENTAL D'INCENDIE ET DE SECOURS (SDIS) DE LA GIRONDE.....	23
3.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET DONNEES DEMOGRAPHIQUES .....	23
3.2. MISSIONS.....	23
3.3. ORGANISATION.....	24
3.4. EFFECTIF .....	24
3.5. INTERVENTIONS .....	24
3.6. <b>RESUME</b> – LE SDIS DE LA GIRONDE .....	26
4. LA CELLULE MOBILE D'INTERVENTION CHIMIQUE (CMIC).....	27
4.1. HISTORIQUE .....	27
4.2. ROLE DE LA CMIC .....	27
4.3. PRINCIPALES CIRCONSTANCES DE RECOURS A LA CMIC .....	27
4.4. COMPOSITION DE LA CMIC .....	28
4.5. METHODOLOGIE OPERATIONNELLE .....	28
4.6. MATERIELS DE LA CMIC.....	30
4.7. <b>RESUME</b> – LA CELLULE MOBILE D'INTERVENTION CHIMIQUE .....	39

5.	RAPPELS DE THERMOREGULATION.....	40
5.1.	ACTEURS DE LA THERMOREGULATION .....	40
5.2.	VARIATIONS PHYSIOLOGIQUES DE LA TEMPERATURE .....	41
5.3.	LES ECHANGES THERMIQUES.....	41
5.4.	EQUILIBRE DES ECHANGES THERMIQUES .....	43
5.5.	PATHOLOGIES LIEES A LA CHALEUR.....	48
5.6.	<b>RESUME</b> – RAPPELS DE THERMOREGULATION .....	53
6.	CONSTRAINTES PHYSIOLOGIQUES DES EPI .....	54
6.1.	CONSTRAINTES PHYSIOLOGIQUES DE L'EPI DE TYPE 1A .....	54
6.2.	CONSTRAINTES PHYSIOLOGIQUES DE L'ARI .....	57
6.3.	<b>RESUME</b> – CONSTRAINTES PHYSIOLOGIQUES DES EPI .....	59
	<b>DEUXIEME PARTIE</b> .....	60
7.	ETUDE.....	61
7.1.	CONTEXTE DE L'ETUDE .....	61
7.2.	MATERIELS ET METHODES .....	62
7.3.	RESULTATS .....	69
7.4.	DISCUSSION.....	79
8.	CONCLUSION GENERALE.....	87
	BIBLIOGRAPHIE .....	88
	ANNEXES .....	94
	SERMENT .....	105

# TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Zone d'intervention (vent<1m/sec) - Principe général de zonage (3) .....	29
Figure 2 : EPI de type 1A .....	34
Figure 3 : Principaux éléments de l'ARI « standard » .....	36
Figure 4 : ARI dit « TRIPLAIR ® » : carter et bloc bouteilles.....	37
Figure 5 : Principaux éléments de l'ARICF dit « PSS BG 4 ® » .....	38
Figure 6 : modèle bi-compartmental .....	42
Figure 7 : Anatomie de la glande eccrine (7) .....	45
Figure 8 : Variation du tonus vasomoteur cutané et du flux sanguin cutané lors d'un stress thermique (11).....	46
Figure 9 : Processus physiopathologique du coup de chaleur (21).....	51
Figure 10 : Humidex .....	52
Figure 11 : Variation de la fréquence cardiaque en réponse au port ou non d'une tenue de protection chimique à différents niveaux d'effort (22).....	54
Figure 12 : Relation entre l'isolation thermique d'un vêtement et son épaisseur (Havenith, 1993) (24).....	55
Figure 13 : Influence du port de charge sur la consommation d'O <sub>2</sub> , fréquence cardiaque et ventilation pulmonaire au repos et à différentes intensités d'exercice (R : repos ; I : 25% VO <sub>2</sub> max ; II : 50% VO <sub>2</sub> max ; III : 75% VO <sub>2</sub> max) (30) .....	58
Figure 14 : Pose d'une bride .....	63
Figure 15 : Frise chronologique de la manœuvre. Pc (Poids corporel), To (Température orale), Fc0 (Fréquence cardiaque de repos avant manœuvre), Borg (évaluation de l'intensité de l'effort), FcR (Fréquence cardiaque de repos après manœuvre) .....	64
Figure 16 : Equipier réalisant la manœuvre avec l'ARI porté sous l'EPI de type 1A.....	65
Figure 17 : Evolution de l'échelle de Borg au cours de la manœuvre .....	74
Figure 18 : Appréciation de l'ambiance thermique avant les manœuvres avec l'ARICO .....	75
Figure 19 : Appréciation de l'ambiance thermique avant les manœuvres avec l'ARICF.....	75
Figure 20 : sensation thermique après manœuvre avec l'ARICO .....	76
Figure 21 : sensation thermique après manœuvre avec l'ARICF.....	76
Figure 22 : Ressenti moyen concernant le confort des deux associations d'EPI :.....	77
Figure 23 : Satisfaction des volontaires concernant l'ARI testé (ARICO, ARICF) selon plusieurs critères (confort thermique, quantité de transpiration, poids de l'ARI, aisance des mouvements, visibilité) .....	78

# TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Profil médical selon la cotation SIGYCOP.....	18
Tableau 2 : Protection des différents types de vêtements de protection chimique .....	33
Tableau 3 : Isolation thermique et résistance à l'évaporation de différentes tenues de protection (23).....	56
Tableau 4 : Caractéristiques des sapeurs-pompiers (âge, poids, taille, indice de masse corporelle (IMC en kilogramme par mètre au carré), fréquence cardiaque maximale théorique (FMT en battements par minute) .....	70
Tableau 5 : Température centrale et sa variation lors des manœuvres avec ARICO et ARICF .....	72

## LISTE DES ABREVIATIONS

**SDIS** : Service Départemental d'Incendie et de Secours

**CMIC** : Cellule Mobile d'Intervention Chimique

**CMIR** : Cellule Mobile d'Intervention Radiologique

**SDACR** : Schéma Départemental d'Analyse et de Couverture des Risques

**TPC** : Tenue de Protection Chimique

**ARI** : Appareil Respiratoire Isolant

**EPI** : Equipement de Protection Individuelle

**RCH** : Risque Chimique

**SPV** : Sapeur-Pompier Volontaire

**SPP** : Sapeur-Pompier Professionnel

**BSPP** : Brigades des Sapeurs-Pompiers de Paris

**BMPM** : Brigade des Marins-Pompiers de Marseille

**INB** : Installation Nucléaire de Base

**SSSM** : Service de Santé et de Secours Médical

**SAL** : Scaphandrier Autonome Léger

**GRIMP** : Groupe de Reconnaissance et d'Intervention en Milieux Périlleux

**ECG** : Electrocardiogramme

**EPCI** : Etablissements Publics de Coopération Intercommunale

**CTA** : Centre de Traitement de l'Alerte

**SAMU** : Service d'Aide Médicale Urgente

**CODIS** : Centre Opérationnel Départemental d'Intervention et de Secours

**COS** : Commandant des Opérations de Secours

**NIT** : Note d'Information Technique

**PVC** : Polychlorure de Vinyle

**ARICO** : Appareil Respiratoire Isolant à Circuit Ouvert

**ARICF** : Appareil Respiratoire Isolant à Circuit Fermé

**ELD** : Engagement Longue Durée

**CO2** : Dioxyde de Carbone

**O2** : Oxygène

**PCM** : Pulsation Cardiaque Motrice  
**PCT** : Pulsation Cardiaque Thermique  
**FcR** : Fréquence cardiaque de Repos après exposition à la chaleur  
**Fc0** : Fréquence Cardiaque de repos  
**CCC** : Coup de Chaleur Classique  
**CCE** : Coup de Chaleur d'Exercice  
**HSP** : Heat Shock Proteines : protéines de choc thermique  
**VO2 max** : Consommation maximale d'Oxygène  
**FMT** : Fréquence cardiaque Maximale Théorique  
**Tc** : Température centrale  
**To** : Température orale  
**CIS** : Centre d'Intervention et de Secours  
**Hrlim** : fréquence cardiaque maximale en situation de travail  
**PHS** : Predictive Heat Stress : indice de stress thermique  
**PeSI** : Perceptual Strain Index : indice de stress perçu  
**HTT** : Heat Tolerance Test : Test de Tolérance à la Chaleur  
**Im** : Indice de perméabilité  
**Clo** : Isolation Thermique d'un vêtement

# **PREMIERE PARTIE**

# 1. INTRODUCTION

---

La mission régaliennne des sapeurs-pompiers est la lutte contre les incendies. Cependant, ces derniers ne représentent que 7% de leurs interventions en France en 2013. D'autres missions leur incombent, telles que le secours d'urgence aux personnes (75%), les accidents de la circulation mais aussi la protection de l'environnement contre la pollution, les feux de forêt et les risques industriels.

Pour lutter contre cette dernière menace, les **Services Départementaux d'Incendie et de Secours (SDIS)** ont créé suite à la circulaire du ministre de l'intérieur du 14 mai 1986, la **Cellule Mobile d'Intervention Chimique et Radiologique (CMIC-CMIR)**.

En 2013, 12 204 sapeurs-pompiers étaient membres de l'une des 112 **CMIC-CMIR** réparties sur l'ensemble du territoire français selon les **Schémas Départementaux d'Analyse et de Couverture des Risques (SDACR)**.

La Gironde, avec plus d'une vingtaine d'établissements à risques biologiques et chimiques se voit dotée d'une **CMIC**.

Sollicitée pour un événement comportant un risque chimique, les missions de la **CMIC** seront : d'identifier le danger et d'évaluer le risque, de mettre en place des mesures de protection spécifiques, d'évacuer ou confiner la population, d'intervenir pour limiter ou supprimer le danger et permettre aux autres moyens de secours d'opérer.

Initialement, la **CMIC** ignore la nature du risque et doit donc se protéger de la manière la plus sécuritaire en portant principalement une **Tenue de Protection Chimique (TPC)** ainsi qu'un **Appareil Respiratoire Isolant (ARI)**. Ces **Equipements de Protection Individuelle (EPI)**, pourtant indispensables à une progression en atmosphère viciée perturbent la thermorégulation, pouvant induire des pathologies liées à la chaleur dont le coup de chaleur d'exercice qui engage le pronostic vital.

Lors d'une intervention RCH, la **CMIC** commence par définir un périmètre de sécurité autour de la zone de danger chimique. Le souhait de la **CMIC** d'élargir ce périmètre de sécurité, se confronte à l'autonomie limitée d'une trentaine de minutes de l'**ARI** actuellement utilisé. Augmenter ce périmètre, implique une augmentation du temps de marche aller et retour entre la zone de soutien et la zone de risque chimique.

Des **ARI** offrant une plus grande autonomie existent mais leurs impacts sur la performance des sapeurs-pompiers ont rarement été étudiés dans les conditions opérationnelles de type risque chimique.

L'objectif de ce travail de thèse est de comparer au cours d'une manœuvre, l'astreinte thermique engendrée par deux **ARI** de grande capacité, l'un à circuit ouvert, l'autre à circuit fermé, portés sous une tenue de protection chimique.

Dans une première partie, ce manuscrit présente le métier de sapeur-pompier, le **SDIS 33** et le fonctionnement de la **CMIC**. Cette première partie dresse également l'état actuel des connaissances concernant la thermorégulation, les pathologies liées à la chaleur et l'impact physiologique des **EPI**.

La deuxième partie est consacrée à l'étude où le matériel et les méthodes sont définis puis les résultats présentés et discutés.

## 2. LES SAPEURS-POMPIERS

---

### 2.1. ORGANISATION DES SAPEURS-POMPIERS EN FRANCE

En 2015, l'effectif national des sapeurs-pompiers était de 246 900. Parmi eux, on retrouve 78% de sapeurs-pompiers volontaires (**SPV**), 17% de sapeurs-pompiers professionnels (**SPP**) et 5% de sapeurs-pompiers militaires.

#### 2.1.1. LES SAPEURS-POMPIERS PROFESSIONNELS (SPP)

Les SPP, au nombre de 41 000 en 2015, sont fonctionnaires des collectivités territoriales. Ils sont principalement affectés dans les grandes agglomérations ou dans les centres de secours fortement sollicités et assurent l'ossature des **SDIS**. L'accès à la profession est possible pour la personne majeure, de nationalité française, titulaire d'un diplôme de niveau V minimum (ex : brevet des collèges). Le concours d'entrée est la principale voie pour devenir **SPP** officier ou non-officier. Les épreuves d'admissibilité comportent des épreuves écrites et des épreuves physiques et sportives différentes pour le concours officier ou non-officier, ainsi qu'une épreuve orale d'admission.

#### 2.1.2. LES SAPEURS-POMPIERS VOLONTAIRES (SPV)

En 2015, la France pouvait compter sur 193 700 **SPV**, constituant l'ossature principale des secours dans notre pays. Ils remplissent les missions de sapeur-pompier en marge de leurs professions ou études et de leur vie familiale. Selon les statistiques de 2015, les employés de la fonction publique, les étudiants et les ouvriers qualifiés représentent respectivement 15.6%, 10% et 9% de l'effectif des Sapeurs-Pompiers Volontaires.

#### 2.1.3. LES SAPEURS-POMPIERS MILITAIRES

Les corps de sapeurs-pompiers militaires sont créés par Napoléon 1<sup>er</sup>, qui désirait professionnaliser la lutte contre le feu à Paris, confiant cette mission à un corps militaire, gage d'efficacité. Les 12 200 sapeurs-pompiers militaires (2015) se répartissent à Paris et dans quatre départements limitrophes formant la Brigade des Sapeurs-Pompiers de Paris (**BSPP**) et à Marseille avec le Bataillon des Marins-Pompiers de Marseille (**BMPM**).

## 2.2. LES SITUATIONS DE TRAVAIL DES SAPEURS-POMPIERS

Les principales situations de travail des sapeurs-pompiers découlent des missions attribuées aux **SDIS**, telles que détaillées en troisième partie.

Les situations de travail des sapeurs-pompiers sont :

- Le secours d'urgence aux personnes ;
- La lutte contre les incendies (feux urbains, feux de forêts, feux industriels, feux de navires ...etc) ;
- Le secours routier ;
- Les interventions diverses (assistance aux personnes en situation dangereuse, capture d'animaux dangereux, inondations ...etc) ;
- Les risques technologiques :

Ils sont particulièrement prégnants en Gironde. En effet, le département compte 33 établissements classés SEVESO, dont 15 « seuil haut » et 18 « seuil bas » ainsi qu'une Installation Nucléaire de Base (**INB**) (**annexe 1**). De plus, le département dispose d'un vaste réseau routier et ferroviaire sur lequel poids-lourds et trains assurent le transport de matières dangereuses (soufre, hydrocarbures, gaz liquides...). Les risques naturels notoires en Gironde tels que feux de forêt, inondations, tempêtes, mouvements de terrain et effondrements de cavités souterraines sont de nature à provoquer des accidents industriels ou de compromettre la sécurité du transport de matières dangereuses.

Toutes ces situations de travail comportent des risques et des contraintes communes mais parfois spécifiques à certaines missions.

Nous allons nous focaliser sur les risques et contraintes des interventions risque chimique.

## **2.3. LES RISQUES ET CONTRAINTES DES INTERVENTIONS : LEURS CONSEQUENCES SUR LA SANTE DES SAPEURS-POMPIERS**

Les interventions « risque chimique » comportent de nombreux facteurs d'aléas.

### **2.3.1. LES CONTRAINTES PHYSIQUES**

#### **2.3.1.1. Risque thermique**

Les sinistres avec risque chimique survenant aussi bien en extérieur qu'en intérieur, les sapeurs-pompiers peuvent être exposés aux intempéries ainsi qu'à des ambiances de travail froide ou chaude. Indépendamment de la température ambiante dans laquelle l'intervention se déroule, le port combiné de l'appareil respiratoire isolant et de la tenue de protection chimique engendre un stress thermique conséquent.

#### **2.3.1.2. Port de charge lourde**

L'intervention sur un danger chimique, impose selon sa nature, le port d'un ensemble d'EPI dont l'ARI et l'EPI de type 1A avec bottes qui constitue une charge supplémentaire non négligeable. L'ARI selon son type, représente à lui seul une surcharge de 15 à 17.5 Kg.

Les matériels nécessaires à la détection, à la suppression du risque (lot de brides), à la dépollution sont également transportés vers la zone de danger chimique et constituent également une surcharge.

Cette manutention de charges lourdes peut entraîner de nombreuses pathologies aiguës ou chroniques. Ce risque est d'autant plus grand que le travail se fait dans un degré d'urgence certain et qu'il impose parfois le maintien prolongé de postures contraignantes.

Les pathologies induites par le port de charge dans les conditions évoquées, rentrent dans le cadre des troubles musculo-squelettiques.

#### **2.3.1.3. Risque traumatique**

Le risque traumatique n'est pas négligeable au cours des interventions chimiques. Les traumatismes de l'appareil locomoteur sont les plus fréquents. Ils peuvent survenir à l'occasion d'une chute de plain-pied ou de hauteur, suite à un malaise ou liée à des obstacles environnementaux. De même, les feux industriels peuvent occasionner des brûlures. D'éventuelles explosions peuvent générer des lésions de blast. L'altération sensorielle découlant de l'utilisation des différents EPI, est un facteur favorisant le risque traumatique.

#### 2.3.1.4. Risque chimique

En intervention risque chimique, les sapeurs-pompiers spécialisés sont susceptibles d'être exposés à divers produits ou mélanges solides, liquides, gazeux dont la toxicité leurs sont propres. Le port d'EPI adaptés permet de limiter le risque d'intoxication.

#### 2.3.1.5. Autres contraintes

##### 2.3.1.5.1. **Charge mentale**

La charge mentale est très importante lors des interventions sur risque chimique. En effet, ces interventions réclament une vigilance importante, une grande maîtrise de soi et entraînent un haut niveau de stress.

Ce dernier se définit comme la réponse d'adaptation d'un organisme aux sollicitations de l'environnement.

Lors d'une situation stressante, l'individu réagit par trois mécanismes successifs d'adaptation. La phase d'alarme où l'organisme réagit dans l'urgence. La phase d'adaptation de l'organisme au stress. Enfin, la phase d'épuisement dans laquelle l'organisme est dépassé.

Tout travail stressant entraîne un risque accru d'accident de travail.

##### 2.3.1.5.2. **Le rythme de travail**

Par définition, un accident, technologique, peut survenir à tout moment de la journée ou de la nuit et en tout lieu. Ainsi, le rythme de travail est très irrégulier au cours d'une garde, avec du travail de nuit et parfois de nombreuses heures d'attente entre deux interventions.

## **2.4. APTITUDE MEDICALE DES SAPEURS-POMPIERS**

Le sapeur-pompier, qu'il soit volontaire ou professionnel, doit présenter des qualités physiques et psychologiques particulières afin de réaliser chaque mission avec un gage de sécurité maximale. Il revient au Service de Santé et de Secours Médical (**SSSM**) de s'en assurer.

#### 2.4.1. SERVICE DE SANTE ET DE SECOURS MEDICAL (SSSM)

Le Service de Santé et de Secours Médical est composé de médecins, infirmiers, pharmaciens, vétérinaires. Ils sont professionnels ou volontaires.

Les missions du **SSSM** sont définies par l'article R1424-24 du code général des collectivités territoriales. Ses missions sont les suivantes :

- La surveillance de la condition physique des sapeurs-pompiers ;
- L'exercice de la médecine professionnelle et d'aptitude des sapeurs-pompiers professionnels et de la médecine d'aptitude des sapeurs-pompiers volontaires ;
- Le conseil en matière de médecine préventive, d'hygiène et de sécurité, notamment auprès du comité d'hygiène et de sécurité ;
- Le soutien sanitaire des interventions des services d'incendie et de secours et les soins d'urgence aux sapeurs-pompiers ;
- La participation à la formation des sapeurs-pompiers au secours à personnes
- La surveillance de l'état de l'équipement médico-secouriste du service

Dans le cadre de la médecine professionnelle et d'aptitude, le médecin sapeur-pompier habilité, détermine au regard de la loi et à l'occasion de différentes visites si l'agent est apte à devenir sapeur-pompier, à être maintenu en activité, à devenir spécialiste.

#### 2.4.2. ARRETE DU 6 MAI 2000 CONSOLIDE

Cet arrêté fixe les conditions médicales d'aptitude des sapeurs-pompiers professionnels et volontaires. Pour se prononcer en matière d'aptitude, le médecin sapeur-pompier évalue la compatibilité entre d'une part l'état de santé et la condition physique de l'agent et d'autre part les contraintes auxquelles l'exposent les missions qui lui seront confiées. Cette évaluation implique un bilan médical comportant un interrogatoire sur les antécédents médico-chirurgicaux, un examen clinique ainsi que des examens complémentaires. Un profil médical est déterminé au regard de ce bilan et à l'aide du SIGYCOP.

#### 2.4.3. LE SIGYCOP

Il s'agit d'un « barème » créé initialement par et pour l'armée, par arrêté du 20 décembre 2012, relatif à la détermination de l'aptitude à servir, lequel permet au médecin sapeur-pompier d'établir le profil médical dont dépendra les niveaux d'aptitude. Ce profil médical est défini par sept sigles auxquels sont attribués des coefficients. L'éventail de ces coefficients couvre les degrés allant de la normalité qui traduit l'aptitude sans restriction jusqu'à l'affection grave ou l'impotence fonctionnelle majeure qui traduit l'inaptitude totale.

Les sept sigles qui définissent le profil médical sont respectivement :

S : ceinture scapulaire et membres supérieurs

I : ceinture pelvienne et membres inférieurs

G : état général

Y : yeux et vision (sens chromatique exclu)

C : sens chromatique

O : oreilles et audition

P : psychisme

Les coefficients attribués aux sigles S, I, G, Y et O vont de 1 à 6, au sigle C de 0 à 5 (sa cotation ne rentre plus dans le cadre de l'aptitude sapeur-pompier) et au sigle P de 0 à 5. Le coefficient à attribuer à chaque sigle est choisi en fonction de la gravité de l'affection ou de l'importance des séquelles sans prendre en considération la catégorie de personnel à laquelle appartient le sujet, son emploi, son grade ou son ancienneté.

Après avoir attribué un coefficient à chaque sigle, on peut déterminer le profil médical selon le tableau 1 :

	S	I	G	Y	C	O	P
Profil A	2	2	2	2	0	2	2
Profil B	2	2	2	3	0	3	2
Profil C	3	3	3	3	0	4	2
Profil D	3	3	3	4	0	4	2
Profil E	4	4	4	4	0	5	2

Tableau 1 : Profil médical selon la cotation SIGYCOP

Pour être déclaré apte à un premier emploi de sapeur-pompier professionnel ou à un premier contrat de sapeur-pompier volontaire du service civil, le candidat doit remplir les conditions médicales correspondant au minimum à un profil B. Ce profil doit être conservé jusqu'à 39 ans pour prétendre être maintenu en activité opérationnelle. De quarante à quarante-neuf ans, un profil C est exigé. Après quarante-neuf ans, un profil D suffit pour être maintenu en activité opérationnelle. Le profil E correspond à une activité non opérationnelle. En fonction du respect ou non du profil médical attendu selon l'âge de l'agent, le médecin sapeur-pompier statue sur l'aptitude dudit agent à occuper certains emplois ou à effectuer certains exercices. Chaque visite donne lieu à l'établissement d'un certificat médical d'aptitude.

#### 2.4.4. DES EQUIPES SPECIALISEES

Chaque sapeur-pompier, peut effectuer une ou plusieurs activités spécialisées parmi : Scaphandrier Autonome Léger (**SAL**), Groupe de Reconnaissance et d'Interventions en Milieux Périlleux (**GRIMP**), Cellule Mobile d'Intervention Radiologique (**CMIR**), Cellule Mobile d'Intervention Chimique (**CMIC**). Ces activités, en raison de leurs risques propres et des conditions d'intervention, requièrent des capacités physiques et mentales élevées si bien que la sélection sur le profil médical est encore plus exigeante. Ainsi, pour être reconnu et maintenu apte à la spécialité **SAL**, un profil médical seuil de type A (S2, I2, G2, Y2, C0, O2, P2) est exigé. De même, pour les spécialités **GRIMP**, **CMIR** et **CMIC**, le sapeur-pompier doit présenter un profil médical seuil de type B (S2, I2, G2, Y3, C0, O3, P2).

#### 2.4.5. LES DIFFERENTES VISITES

##### 2.4.5.1. Visite d'incorporation

Cette visite concerne chaque agent se présentant soit pour un premier emploi de sapeur-pompier professionnel, soit pour un engagement en tant que sapeur-pompier volontaire ou soit lors d'une mutation. Dans un premier temps, l'agent est accueilli par un infirmier de sapeur-pompier qui va recueillir les données cliniques et paracliniques liés aux différents examens exigés (vaccinations, bilan biologique, radiographie pulmonaire). Puis, il mesure les données morphologiques (taille, poids) ainsi que les paramètres hémodynamiques (fréquence cardiaque et tension artérielle). Il réalise les examens complémentaires suivants : mesure de la fonction visuelle, audiogramme, électrocardiogramme (**ECG**) de repos et spirométrie. Dans un second temps, une consultation avec un psychologue permet d'apprécier les facteurs de risques psychologiques et d'évaluer l'aptitude à servir. Lors de la consultation médicale, le médecin de sapeur-pompier recueille le ou les antécédent(s) médico-chirurgicaux, la ou les pathologie(s) en cours, traitement(s) et allergie(s) et s'assure de la validité des vaccinations obligatoires. Il réalise également un examen physique complet. Tenant compte des informations recueillies lors de l'interrogatoire, de l'examen physique et des examens complémentaires, le médecin établit le profil médical et prononce les conditions d'aptitude qui en découlent.

##### 2.4.5.2. Visite de maintien en activité

Il s'agit d'une visite périodique, annuelle dont l'objectif est de s'assurer du maintien de l'aptitude au poste de sapeur-pompier. Tout comme la visite d'incorporation, il existe un temps infirmier et un temps médical.

Le contenu de cette visite est quasiment identique à la visite d'incorporation car elle est seulement amputée du bilan biologique et de l'**ECG** qui seront toutefois réalisés de manière systématique tous les 3 ans à partir de 40 ans. A nouveau, le médecin prononce l'aptitude avec d'éventuelles restrictions ou l'inaptitude.

#### 2.4.5.3. Visite de pré-reprise

La visite de pré-reprise a pour but de favoriser le maintien dans l'emploi d'une personne en arrêt de travail depuis au moins 3 mois. Une telle durée d'arrêt fait en effet craindre de potentielles difficultés lors du retour à l'emploi sur le poste en l'état. Cette visite, qui peut être demandée par le médecin conseil, le médecin traitant ou l'agent lui-même, donne l'occasion au médecin du travail de préparer la reprise avec d'éventuels aménagements de poste, cela en concertation avec l'employeur.

#### 2.4.5.4. Visite après arrêt de travail

Tout arrêt de travail supérieur à 21 jours pour cause de maladie ou accident, qu'il soit survenu en service ou hors service, entraîne l'obligation d'information du médecin sapeur-pompier chargé de l'aptitude et, éventuellement, sur décision de celui-ci, d'une visite médicale préalable à la reprise de l'activité opérationnelle du sapeur-pompier (1).

#### 2.4.5.5. Visite de reprise après maternité

L'état de grossesse est une cause d'inaptitude opérationnelle temporaire, si bien que le sapeur-pompier concerné ne doit pas effectuer de mission opérationnelle pendant cette période. Une visite médicale préalable à la reprise de l'activité opérationnelle sera effectuée (1).

#### 2.4.5.6. Visite à la demande

Une visite médicale peut être sollicitée à tout moment, soit à la demande du salarié, soit de l'employeur, soit du médecin du travail.

#### 2.4.5.7. Visites spécifiques

Les sapeurs-pompiers ayant une activité spécialisée telles que : Groupe de Reconnaissance et d'Intervention en Milieux Périlleux (**GRIMP**), Scaphandrier Autonome Léger (**SAL**), Cellule Mobile d'Intervention Radiologique (**CMIR**), Cellule Mobile d'Intervention Chimique (**CMIC**) ; bénéficient d'une visite de prise de spécialité et de visites de maintien en activité.

Ces visites sont spécifiques dans le sens où elles s'attachent à rechercher par l'interrogatoire, l'examen physique mais aussi et surtout à l'aide d'examens complémentaires adaptés, les contre-indications aux différentes spécialités. Les conditions de visite pour spécialité sont précisées dans l'annexe de l'arrêté du 6 mai 2000 consolidé.

## 2.5. RESUME – LES SAPEURS-POMPIERS

- Les sapeurs-pompiers sont soit volontaires, soit professionnels, soit militaires. Les sapeurs-pompiers volontaires représentent plus des trois quarts de l'effectif national des sapeurs-pompiers.
- Les différentes situations de travail des sapeurs-pompiers sont :
  - Le secours d'urgence aux personnes
  - La lutte contre les incendies
  - Le secours routier
  - Les interventions diverses dont les risques technologiques parmi lesquels figurent les interventions radiologiques, chimiques et biologiques.
- De ces situations de travail, découlent des risques, contraintes et conséquences pour la santé des sapeurs-pompiers tels que :
  - Des contraintes physiques liées aux ambiances de travail, au port de charge
  - Le risque traumatique
  - Le risque chimique
  - La charge mentale
- Le Service de Santé et de Secours Médical (**SSSM**) exerce différentes missions dont :
  - Le soutien sanitaire des interventions des services d'incendie et de secours et les soins d'urgence aux sapeurs-pompiers ;
  - L'exercice de la médecine professionnelle et d'aptitude des sapeurs-pompiers
- Les conditions médicales d'aptitude des sapeurs-pompiers sont fixées par l'arrêté du 6 mai 2000 consolidé et son annexe.
- La décision d'aptitude est prise au regard du profil médical de l'agent, lui-même établi à l'aide du SIGYCOP.
- Les sapeurs-pompiers peuvent se spécialiser dans certains domaines : Scaphandrier Autonome Léger, Groupe d'Intervention en Milieux Périlleux, Cellule Mobile d'Intervention Radiologique, Cellule Mobile d'Intervention Chimique.
- L'aptitude est évaluée ou réévaluée à l'occasion de différentes visites médicales : visite d'incorporation, visite de maintien en activité, visite de pré-reprise, visite de reprise, visite à la demande, visite spécifique aux spécialités.

## 3. LE SERVICE DEPARTEMENTAL D'INCENDIE ET DE SECOURS (SDIS) DE LA GIRONDE

---

Du fait de la taille de la population à protéger, du nombre de sapeurs-pompiers professionnels et volontaires et de son budget annuel, le **SDIS** de la Gironde est un des **SDIS** de catégorie A les plus importants.

### 3.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET DONNEES DEMOGRAPHIQUES

La Gironde est un département français situé dans le sud-ouest du pays et fait partie de la région Nouvelle-Aquitaine. Avec ses 10000 km<sup>2</sup>, la Gironde est le département métropolitain le plus vaste de France. La forêt recouvre 45% de la superficie totale. Le département possède également 126 kilomètres de littoral, 3500 kilomètres de rivières et de nombreux lacs.

Selon les derniers chiffres de l'Insee (2013), la population girondine dépasse 1.5 millions d'habitants soit environ 150 habitants par kilomètre carré.

### 3.2. MISSIONS

Au titre de l'article L1424-2 du Code Général des Collectivités Territoriales, les services d'incendie et de secours sont chargés de missions propres et de mission partagées. D'abord la prévention, la protection et la lutte contre les incendies. Ils concourent aussi, avec les autres services et professionnels concernés, à la protection et à la lutte contre les autres accidents, sinistres et catastrophes, à l'évaluation et à la prévention des risques technologiques ou naturels ainsi qu'aux secours d'urgence.

Dans le cadre de leurs compétences, ils exercent les missions suivantes :

- La prévention et l'évaluation des risques de sécurité civile ;
- La préparation des mesures de sauvegarde et l'organisation des moyens de secours ;
- La protection des personnes, des biens et de l'environnement ;
- Le secours d'urgence aux personnes victimes d'accidents, de sinistres ou de catastrophes ainsi que leur évacuation.

### 3.3. ORGANISATION

Le **SDIS** de la Gironde est un Etablissement Public Local Autonome, issu de la loi du 3 mai 1996. Il est soumis à une double autorité. La première est une autorité opérationnelle gérée conjointement par le Préfet et le Maire dans le cadre de leurs pouvoirs respectifs de police. La seconde est une autorité administrative gérée par un Conseil d'Administration composé de membres élus du Conseil Départemental et d'Etablissements Publics de Coopération Intercommunale (**EPCI**).

La stratégie opérationnelle fait appel au Schéma Départemental d'Analyses et de Couverture des Risques (**SDACR**). Ce document élaboré par le **SDIS** sous l'autorité du Préfet, doit dresser l'inventaire des risques de toute nature pour la sécurité des personnes et des biens auxquels doivent faire face les services d'incendie et de secours dans le département, mais aussi déterminer les objectifs de couverture de ces risques.

### 3.4. EFFECTIF

En 2016, le **SDIS** de la Gironde comportait 5 369 agents. Parmi eux, 4 948 sont sapeurs-pompiers, dont 3 094 sapeurs-pompiers volontaires et 1 854 sapeurs-pompiers professionnels. 513 sapeurs-pompiers avaient le double statut professionnel et volontaire. Les sapeurs-pompiers assurent la grande majorité des missions opérationnelles du **SDIS**. Complétant l'effectif total, les personnels administratifs et techniques étaient au nombre de 421 en 2016. Fonctionnaires territoriaux pour la majorité, travaillant de concert avec les sapeurs-pompiers, ils assurent des fonctions administratives (ressources-humaines, service financier etc...) et techniques (gestion du parc technique, gestion du patrimoine etc...) et certaines missions opérationnelles d'appui aux interventions.

### 3.5. INTERVENTIONS

Chaque département possède au moins un centre de traitement de l'alerte (**CTA**), centralisant l'ensemble des appels effectués vers le 18 ou le 112. Le **CTA** traite, parfois réoriente ces appels vers les autres services de secours (**SAMU**). Il transmet l'alerte aux personnels des centres de secours par l'intermédiaire d'un système de gestion informatisé. En fonction de la nature du sinistre et de sa localisation, le système informatique propose l'engin disponible, adapté et armé par les personnels compétents les plus proches. Les personnels du **CTA**, sous la responsabilité d'un officier de sapeur-pompier peuvent valider ou modifier cette proposition.

Chaque département comporte également un Centre Opérationnel Départemental d'Incendie et de Secours (**CODIS**), dirigé par un officier de sapeur-pompier. Le **CODIS** coordonne l'activité opérationnelle du **SDIS** sur le département. Il assure la remontée de l'information vers la chaîne de commandement du **SDIS** et les différentes autorités.

En 2016, le **CTA-CODIS** du **SDIS** de la Gironde a reçu 628 181 appels soit un appel toutes les 50 secondes. Cela a conduit à 107 491 interventions (feux de forêt et interventions hors département compris) soit 1 intervention toutes les 5 minutes. L'immense majorité de ces interventions correspond à du secours aux personnes (79%) alors que la lutte contre les incendies, mission historique des sapeurs-pompiers ne représente que 6.7% des interventions de 2016 (2).

### **3.6. RESUME – LE SDIS DE LA GIRONDE**

- La Gironde est le plus vaste département métropolitain
  
- La population girondine dépasse les 1.5 millions d'habitants
  
- Les missions du **SDIS** sont :
  - La prévention et l'évaluation des risques de sécurité civile
  - La préparation des mesures de sauvegarde et l'organisation des moyens de secours
  - La protection des personnes, des biens et de l'environnement
  - Le secours d'urgences aux personnes victimes d'accidents, de sinistres ou de catastrophes ainsi que leur évacuation
  
- Le **SDIS** fonctionne sous une double autorité ; opérationnelle et administrative
  
- La stratégie opérationnelle est dressée dans le Schéma Départemental d'Analyse et de Couverture des Risques (**SDACR**)
  
- Le **SDIS** 33, comptait 5369 agents en 2016 dont 4948 sapeurs-pompiers et 421 personnels administratifs et techniques
  
- Le Centre de Traitement de l'Alerte (**CTA**) reçoit les appels destinés au 18 et au 112
  
- Le Centre Opérationnel Départemental d'Incendie et de Secours (**CODIS**) coordonne l'activité opérationnelle
  
- En 2016, les sapeurs-pompiers de la Gironde ont réalisé 107 491 interventions. Il s'agit dans 80 % des cas, d'interventions de secours d'urgence aux personnes. La lutte contre les incendies représente 6.7% des interventions.

## 4. LA CELLULE MOBILE D'INTERVENTION CHIMIQUE (CMIC)

---

### 4.1. HISTORIQUE

Dans les années 70-80, dans un contexte d'industrialisation galopante, de nouveaux risques qualifiés de « technologique » sont apparus et ont occasionné des accidents majeurs tels que Seveso en 1976, Los Alfaques en 1978 et la catastrophe de Bhopal en Inde en 1984. Le territoire Français n'est pas épargné par les sinistres industriels ; comme l'explosion de l'usine chimique AZF de Toulouse en 2001. Plus ancien, mais de triste mémoire : l'incendie de la raffinerie de pétrole de Feyzin (proximité de Lyon) en 1966, où les Sapeurs-Pompiers payèrent un lourd tribut, par la perte de 11 de leurs camarades de lutte contre le feu. L'actualité en terme d'accidents chimique met alors en évidence les déficiences de la politique de prévention et de prévision. En 1984, sous l'impulsion du Préfet Rouanet, une réflexion sur la mise en place d'un dispositif national d'intervention face aux risques chimiques est lancée. Cette réflexion aboutira, dans le cadre de la circulaire du 14 mai 1986, à la création de la Cellule Mobile d'Intervention Chimique (**CMIC**).

### 4.2. ROLE DE LA CMIC

La **CMIC** a pour rôle d'informer les services de secours des dangers potentiels des produits identifiés sur le site d'un sinistre et impliquant un risque chimique. Elle détermine avec les autorités compétentes les actions de protection et de sauvegarde à mettre en œuvre. Lorsque les moyens traditionnels des sapeurs-pompiers sont inadaptés, le Commandant des Opérations de Secours (**COS**) peut solliciter les moyens humains et techniques de la **CMIC** afin de supprimer le risque chimique et d'en limiter les effets néfastes sur la population et l'environnement.

### 4.3. PRINCIPALES CIRCONSTANCES DE RECOURS A LA CMIC

Les interventions des **SDIS** motivant l'engagement d'une **CMIC** sont par ordre de fréquence décroissant : les fuites ou odeur de gaz, la détection d'une odeur suspecte autre que le gaz, la découverte d'objets douteux, la pollution environnementale, les feux d'entrepôts et de locaux industriels, la découverte d'un engin explosif.

En 2016, la **CMIC** de la Gironde a été sollicité pour 125 opérations.

#### 4.4. COMPOSITION DE LA CMIC

Une **CMIC** est composée d'un chef de **CMIC**, d'une équipe de reconnaissance et d'une équipe d'intervention. Le chef de **CMIC** commande ces dernières. Il organise la reconnaissance, analyse l'accident, détermine les moyens à mettre en œuvre et informe sa hiérarchie. L'équipe de reconnaissance est constituée d'un chef d'équipe de reconnaissance et de deux équipiers de reconnaissance. Ses activités principales sont la réalisation des premières mesures conservatoires (balisage du périmètre de sécurité, soustraction des victimes au risque, etc ...) et la détermination de l'existence du risque (recueil d'information sur le danger, sa détection et localisation). Quant à elle, l'équipe d'intervention comprend un chef d'équipe d'intervention et deux équipiers d'intervention. Leur objectif est la résolution de l'incident, en agissant sur le risque pour le supprimer et en limiter ses conséquences déplorables.

#### 4.5. METHODOLOGIE OPERATIONNELLE

La diversité des incidents sur lesquels la **CMIC** intervient impose une procédure codifiée. Ainsi, une intervention « risque chimique » peut être divisée en trois phases : phase réflexe, phase réfléchie, phase de retour à la normale.

- Phase réflexe : cette phase consiste en la mise en place d'actions immédiates visant à identifier la nature de l'intervention, réaliser le sauvetage des victimes, sécuriser le site par un zonage à priori. La sectorisation de la zone d'intervention est indispensable à la bonne coordination de l'intervention car celle-ci implique un nombre variable de victimes potentiellement contaminées, de personnes impliquées susceptibles d'avoir été exposées au risque, de personnels, de matériels, structures de commandement et de soutien sanitaire.
- Phase réfléchie : cette phase correspond à la mise en place d'actions « réfléchies » : préciser les circonstances de l'accident, la nature du produit ; établir un zonage adapté, supprimer le danger chimique.  
Le zonage tient compte des caractéristiques de la source de danger, de l'analyse de la zone d'intervention, des conditions météorologiques locales et en particulier l'action du vent, la position par rapport à ce dernier.

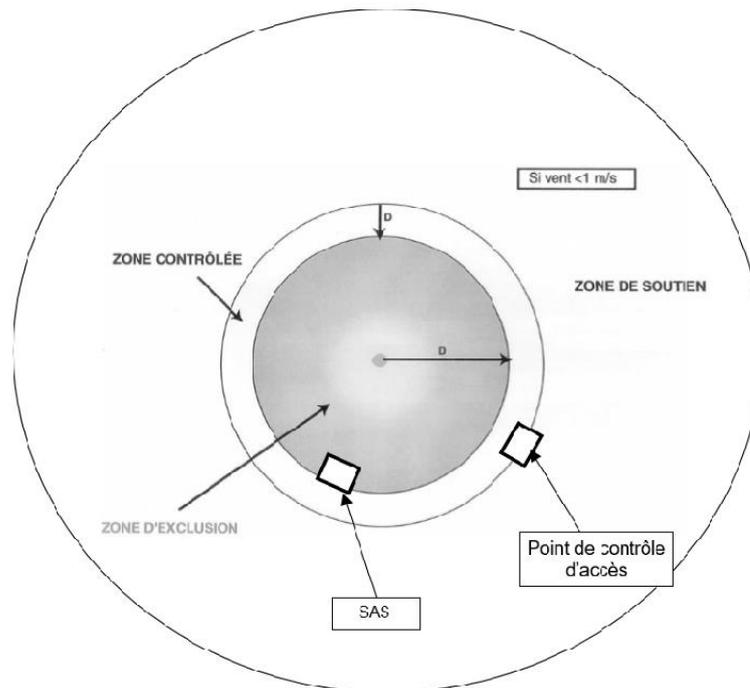


Figure 1 : Zone d'intervention (vent < 1 m/sec) - Principe général de zonage (3)

La zone d'exclusion est la zone où se situe la source du danger chimique. C'est une zone contaminée ou contaminable dans laquelle seuls les spécialistes et personnes autorisées, munis d'un équipement de protection individuel adapté, peuvent pénétrer.

C'est dans la zone de soutien que sont positionnées les structures de prise en charge médicale et d'évacuation ainsi que les postes de commandement. La zone contrôlée est une bande qui sépare la zone d'exclusion de la zone de soutien. Le port d'une tenue de protection est obligatoire dans cette zone, où sont installés les moyens de décontamination.

- Phase de retour à la normale : cette phase comprend la récupération des matières ou produits dangereux, la décontamination des personnes spécialisées impliquées et des matériels, le nettoyage du site de l'incident.

## **4.6. MATRIELS DE LA CMIC**

### **4.6.1. MATRIELS DE DETECTION**

Les équipiers de reconnaissance et/ou d'intervention utilisent des détecteurs de gaz et de liquide afin d'une part, identifier le risque et d'autre part le localiser.

#### **4.6.1.1. Détection des gaz**

La détection des gaz et la détermination des risques auxquels ils exposent (explosion, intoxication, asphyxie) fait appel à des explosimètre, toximètre, oxygenomètre fonctionnant selon différentes modalités telles que la détection catalytique, catharométrique, infrarouge, électrochimique. Des tubes colorimétriques sont utilisés pour une analyse qualitative des gaz.

#### **4.6.1.2. Détection des liquides**

Concernant les liquides, la mesure de leurs pH, conductivité et taux d'oxygène dissous permet d'évaluer leurs propriétés corrosives et polluantes. Les équipiers en risque chimique ont donc recours au papier pH, au pH-mètre, conductimètre et oxygenomètre.

### **4.6.2. STATION-METEO**

Lors d'une intervention risque chimique, les conditions météorologiques sont susceptibles d'influencer le transport, la transformation et la dispersion des gaz. Le vent (direction, vitesse), la température, l'hygrométrie sont autant de paramètres à recueillir pour prévoir et adapter la méthodologie opérationnelle. Ces paramètres sont mesurés par une station-météo qui comporte : anémomètre, girouette, thermomètre, hygromètre et pluviomètre

### **4.6.3. MATERIEL DE LUTTE CONTRE LES POLLUTIONS**

Afin de réduire ou d'éliminer le risque chimique, la **CMIC** dispose de différentes solutions de colmatage ou d'obturation (coussins d'obturation, pâtes obturantes, brides...etc). Après confinement des polluants pour éviter leur dispersion, la récupération de ces produits et leur stockage requièrent à la fois des systèmes absorbants (sables, ciment sec, barrages absorbants etc ...) et des matériels de récupération tels que pompes, surfûts et citernes.

#### 4.6.4. EQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLE (EPI)

##### 4.6.4.1. Généralités concernant les EPI

Selon le code du travail (article R233-83-3 du code du travail), les **EPI** sont des « dispositifs ou moyens destinés à être portés ou tenus par une personne en vue de la protéger contre un ou plusieurs risques susceptibles de menacer sa sécurité ainsi que sa santé ». De nombreux textes réglementaires sont relatifs aux EPI. Ils découlent de la loi 91-1414 du 31 décembre 1991, transposition en droit français de directives européennes adoptées en 1989. En mars 2016, après une longue procédure de révision, la directive 89/686/CEE relative aux **EPI** a été actualisée sous forme de règlement (2016/425) qui entrera en application en avril 2016. Les textes établissent les règles de conception et de fabrication, les mesures de certification de conformité, les conditions de mise en œuvre et d'utilisation des EPI.

Les **EPI** des sapeurs-pompiers doivent bien sûr être conformes aux exigences des normes européennes, mais également à celles de la Note d'Information Technique (**NIT**) de la DDSC agréée par le ministère de l'intérieur. Cette **NIT** donne la description précise des équipements, les matériaux à utiliser, les critères de confection et autres caractéristiques (couleurs, taille, etc...).

Les **EPI** sont classés en 3 catégories. Les **EPI** de catégorie I sont ceux qui protègent contre les risques mineurs. Les **EPI** de catégorie II couvrent les risques intermédiaires, autrement dit les lésions graves. Enfin, les **EPI** de catégorie III apportent une protection contre les risques graves à effets irréversibles ou mortels. L'ensemble des **EPI** des sapeurs-pompiers sont des **EPI** de catégorie de certification III.

En ce qui concerne la procédure de certification pour les **EPI** de catégorie I, une auto-certification, simple déclaration du fabricant sur la conformité de l'**EPI** aux règles techniques est exigée. Les **EPI** de catégorie II et III, sont soumis à l'examen CE de type par un laboratoire notifié, qui atteste que l'**EPI** est conforme aux règles techniques. Pour les **EPI** de catégorie III, l'examen CE de type est complété d'un contrôle de la production.

Au regard du code du travail et plus précisément de l'article L230-2, il revient à l'employeur de prendre « les mesures nécessaires pour assurer la sécurité et protéger la santé physique et mentale des travailleurs ». Pour se faire, il doit se baser sur les principes généraux de prévention avec notamment une évaluation des risques lui permettant d'opter prioritairement pour des mesures de protection collective idoines. Toutefois, si ces dernières sont insuffisantes ou impossibles à mettre en œuvre, l'employeur mettra des **EPI** à disposition de ses salariés.

#### 4.6.4.2. Vêtements de protection

##### 4.6.4.2.1. La tenue d'incendie

La tenue d'incendie sera portée par les sapeurs-pompiers dès lors qu'un feu sévira sur la zone de danger chimique. La tenue d'incendie complète pèse environ 3 kg. Elle est composée de plusieurs **EPI** :

- Le casque F1 : il assure une protection mécanique, thermique, électrique et oculaire du crâne et de la face. Il induit des contraintes mécaniques, thermiques et auditives rendant la communication plus difficile.
- La cagoule de protection portée sous le casque de protection, est destinée à renforcer la protection thermique de la tête.
- La veste de protection : elle est constituée de fibre ininflammable (aramide). Elle est destinée à protéger le tronc des effets de la chaleur des flammes lors des phases de lutte contre les incendies.
- La veste et le pantalon de treillis : ils sont composés de fibres ininflammables. Ils sont destinés à protéger des effets de la chaleur et des flammes lors des phases de lutte contre les incendies.
- Les gants de travail, protègent les mains lors de la lutte contre les incendies, les opérations de recherche.
- Le surpantalon
- Les bottes protègent les pieds des agressions thermiques et de la perforation.

La tenue d'incendie complète est lourde, épaisse, encombrante. Elle limite l'évaporation de la sueur et par conséquent complique la thermorégulation des sapeurs-pompiers.

La difficulté à maintenir l'équilibre thermique dans ces tenues entraîne une augmentation de la température centrale et un surcroît de travail pour le système cardiovasculaire.

#### 4.6.4.2.2. Vêtements de protection chimique

Les vêtements de protection chimique font l'objet de nombreuses normes européennes qui définissent notamment 6 types de vêtements suivant la protection chimique conférée.

Type 1	Étanche au gaz 1a : ARI à l'intérieur 1b : ARI l'extérieur
Type 2	Non étanche au gaz
Type 3	Étanche aux liquides sous forme de jet continu
Type 4	Étanche aux liquides sous forme de pulvérisations
Type 5	Protection contre les produits chimiques sous forme de particule solide
Type 6	Protection contre les éclaboussures de produits chimiques liquides

Tableau 2 : Protection des différents types de vêtements de protection chimique

Les vêtements de protection chimique de type 3 et 4 sont utilisés dans le cadre des interventions risque chimique mais nous allons nous concentrer sur la description de l'EPI de type 1A utilisé dans le cadre de l'étude qui suivra.

##### 4.6.4.2.2.1. EPI de type 1A

L'EPI de type 1A assure une protection optimale vis-à-vis du milieu dans lequel se déroule l'intervention. Ce scaphandre isole en effet l'ensemble du corps et notamment les voies respiratoires contre les produits chimiques liquides et gazeux qui contaminent le site de danger chimique.

Il s'agit d'un scaphandre monopiece avec une visière constituée de 3 couches (**PVC** rigide, Téflon, **PVC** souple). Le scaphandre se referme à l'aide d'une fermeture à glissière de 120 cm qui est étanche aux gaz et aux liquides. La glissière est protégée par deux rabats munis de velcro. La tenue comporte des chaussons avec rabat qui protège les bottes. Des gants de protection chimique, amovibles par l'intérieur, sont fixés mécaniquement par un système de bagues vissables. Une soupape expiratoire à six membranes garantit le maintien d'une pression positive dans la tenue.



Figure 2 : EPI de type 1A

Le scaphandre « anti-gaz » est traditionnellement constitué d'un tissu multicouche avec, de l'extérieur vers l'intérieur :

- La couche externe en élastomère, résistante à la perméation des liquides
- Une première « barrière » chimique (Butyl, Teflon, Néoprene ...)
- Une deuxième « barrière » chimique (Butyl, Teflon, Néoprene...)
- Un tissu « support » qui confère la résistance mécanique (polyamide, Kevlar)

Ce scaphandre permet de protéger le porteur de nombreux produits chimiques. De ce point de vu, il doit répondre aux exigences de la norme NF EN 14325 (2004), qui définit 6 classes selon les temps de perméation aux produits chimique. La perméation correspond au processus par lequel un produit chimique traverse le matériau d'un vêtement de protection à une échelle moléculaire.

Ce scaphandre est « réutilisable » après décontamination. Dans de bonnes conditions de stockage, cet équipement a une durée de vie supérieure à 10 ans.

L'utilisateur de cette tenue de protection chimique ne peut respirer durablement au sein de celle-ci qu'au moyen d'un appareil respiratoire isolant porté soit à l'intérieur (**EPI** de type 1A) soit à l'extérieur (**EPI** de type 1B). Dans un souci de protection maximale, la **CMIC** de la Gironde a choisi la première possibilité.

#### 4.6.4.3. Appareil de protection respiratoire

Selon le principe de protection utilisé, il existe deux grandes familles d'appareil de protection respiratoire : les appareils filtrants et les Appareils Respiratoires Isolants (ARI). Les premiers procèdent par épuration de l'air ambiant contaminé tandis que les second apportent de l'air respirable et isolent de l'atmosphère environnante potentiellement viciée.

Des appareils filtrants sont susceptibles d'être utilisés par les équipiers **RCH** tel que l'appareil respiratoire filtrant à cartouche. Nous allons cependant nous focaliser sur les appareils respiratoires isolants.

Ces derniers fonctionnent soit en circuit ouvert, soit en circuit fermé. Un appareil respiratoire isolant est dit « à circuit ouvert » (**ARICO**) si l'air expiré est rejeté dans l'atmosphère environnante par l'intermédiaire d'une soupape expiratoire. Par opposition, lors de l'utilisation d'un appareil respiratoire isolant à circuit fermé (**ARICF**), l'air expiré est épuré en dioxyde de carbone et en vapeur d'eau puis enrichi de la quantité nécessaire d'oxygène pour le cycle respiratoire suivant.

La **CMIC** du **SDIS 33** a trois types d'**ARI** à sa disposition : l'**ARICO** « standard », l'**ARICO** dit « Triplair® », l'**ARICF** dit « PSS BG ® ». Nous avons vu qu'ils avaient des différences de fonctionnement mais il se distinguent aussi sur d'autres critères tels que l'autonomie et le poids.

##### 4.6.4.3.1. **ARICO « standard »**

C'est l'**ARI** actuellement utilisé en intervention « risque chimique ». C'est aussi celui qui est utilisé en intervention sur feux urbains.

Il fonctionne par inhalation d'air comprimé rejeté dans l'air ambiant.

Il est composé de six éléments principaux : une bouteille (réserve d'air), un détendeur haute pression, une soupape à la demande, une pièce faciale, un harnais, un système sonore de détresse.

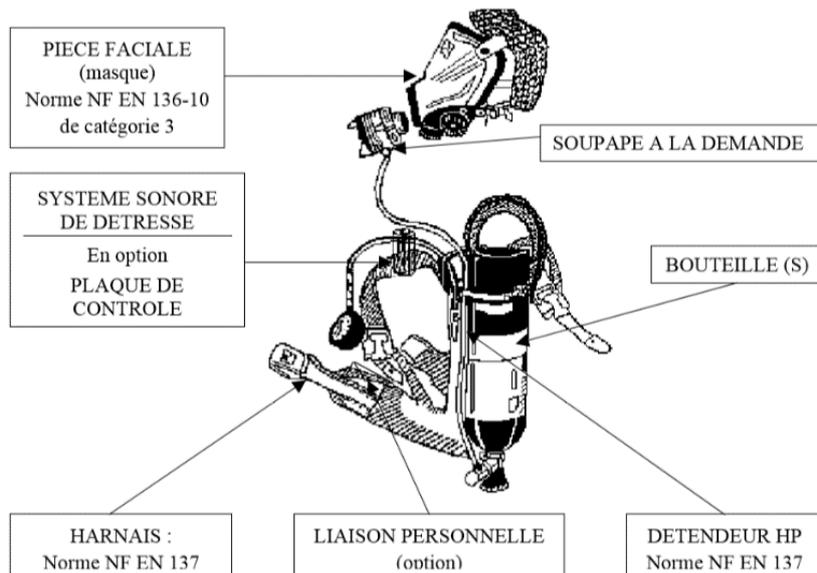


Figure 3 : Principaux éléments de l'ARI « standard »

Complet, il pèse quinze kilogrammes.

L'autonomie est d'environ trente minutes mais elle varie en fonction de la capacité de la bouteille (5 litres, 6 litres, 9 litres...). L'autonomie varie également d'un sujet à l'autre en fonction du niveau d'entraînement, de la corpulence, du stress...

#### 4.6.4.3.2. ARICO dit « TRIPLAIR ® »

Comme le précédent, il fonctionne en circuit ouvert, c'est-à-dire par inhalation d'air comprimé rejeté dans l'air l'ambient.

Les éléments qui le composent sont les mêmes que l'ARI standard sauf qu'il comporte trois bouteilles de trois litres à 300 bars, si bien qu'il offre une autonomie d'utilisation théorique d'environ deux heures et donc bien supérieure à celle de l'ARI « standard ». Un carter antichoc protège le bloc bouteilles ainsi que les éléments de robinetterie et le détendeur haute-pression.



Figure 4 : ARI dit « TRIPLAIR ® » : carter et bloc bouteilles

Cet **ARI** pèse 17,5 kilogrammes.

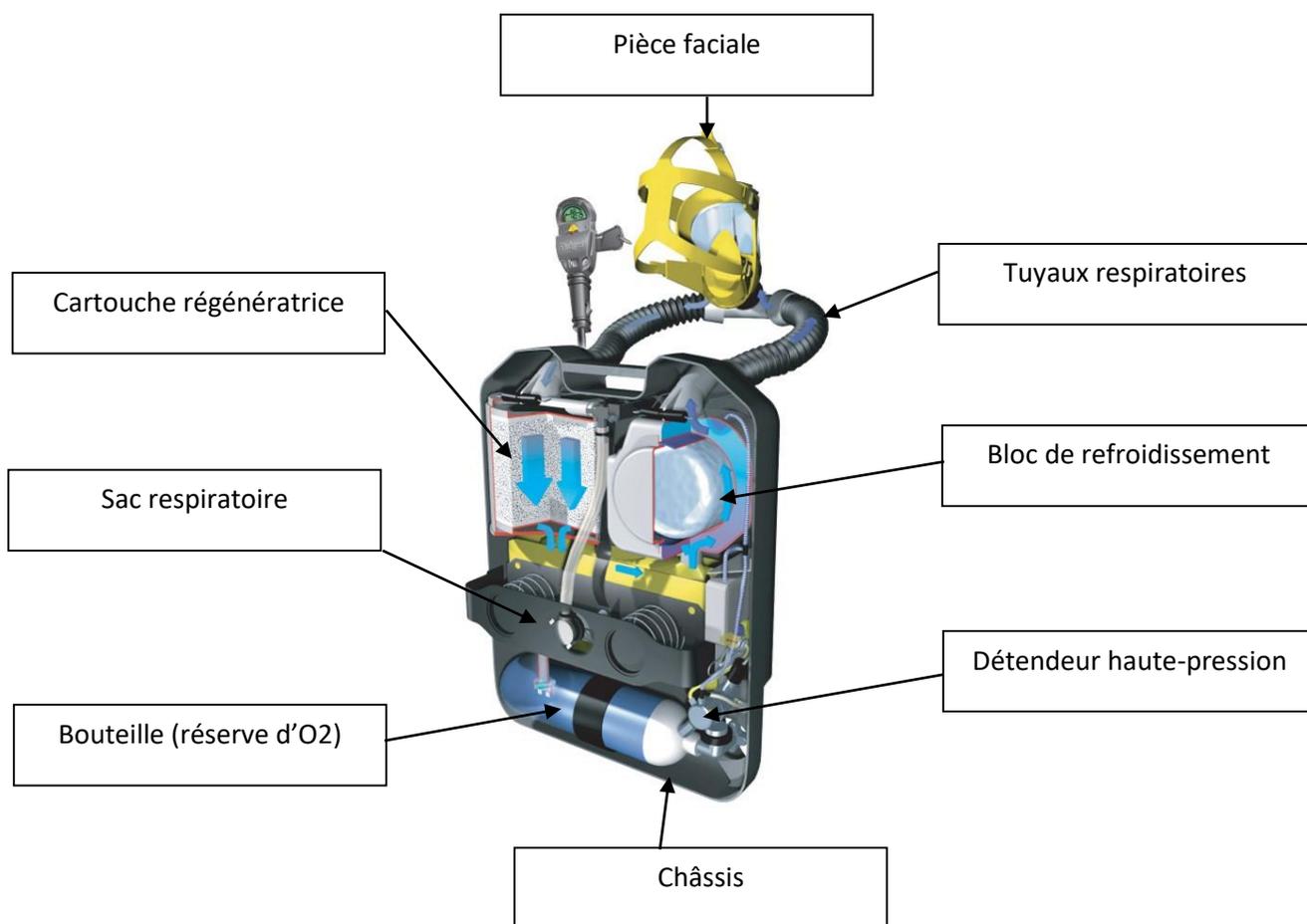
**L'utilisation de cet ARICO « grande capacité » par les équipiers RCH est en discussion et fait l'objet de l'étude présentée dans ce travail de thèse.**

#### **4.6.4.3.3. ARICF dit « PSS BG 4 ® »**

Cet **ARI** à circuit fermé est actuellement utilisé lors des Engagements Longue Durée (**ELD**) tels que les feux de navire ou incendies en parkings souterrains.

Contrairement aux **ARI** à circuit ouvert, l'air expiré est recyclé, c'est-à-dire qu'il est débarrassé du dioxyde de carbone (**CO2**) lors de son passage dans un absorbeur de **CO2**. L'air est ensuite supplémenté en oxygène (**O2**) selon les besoins.

Les principaux éléments qui composent l'ARICF et qui permettent son mode de fonctionnement sont : une cartouche régénératrice, un sac respiratoire, une bouteille (réserve d'**O2**), un détendeur haute-pression, un bloc de refroidissement, les tuyaux respiratoires, une pièce faciale, un châssis (dispositif de portage).



*Figure 5 : Principaux éléments de l'ARICF dit « PSS BG 4 ® »*

La bouteille d'O<sub>2</sub> a une capacité de 2 litres. Le sac ventilatoire en polyuréthane a un volume de cinq litres et demi.

L'autonomie théorique de ce dispositif est de quatre heures.

Il pèse 15.4 kilogrammes

**Une réflexion quant à son utilisation en intervention risque chimique est menée.**

## 4.7. RESUME – LA CELLULE MOBILE D'INTERVENTION CHIMIQUE

- La Cellule Mobile d'Intervention Chimique (**CMIC**) a pour mission de supprimer le risque chimique et d'en limiter ses effets néfastes sur la population et l'environnement.
- Un chef de **CMIC** commande :
  - L'équipe de reconnaissance qui réalise les premières mesures conservatoires et détermine la nature du risque chimique
  - L'équipe d'intervention qui agit pour supprimer le risque chimique
- Le port d'équipements de protection individuelle (**EPI**) est indispensable pour intervenir en zone d'exclusion :
  - Il s'agit d'**EPI** de catégorie III, c'est-à-dire qu'ils protègent contre les risques graves à effets irréversibles ou mortels.
  - L'**EPI** de type 1A est une tenue de protection chimique étanche au gaz. Ce scaphandre est constitué d'un tissu « barrière » multicouches.
  - Un appareil respiratoire isolant (**ARI**) porté sous l'**EPI** de type 1A est nécessaire pour respirer durablement à l'intérieur de cette tenue. Différents **ARI** existent, avec des différences de fonctionnement, de poids et d'autonomie.
    - L'**ARI** actuellement utilisé est l'**ARI** « standard », celui qui sert lors des incendies. Il fonctionne en circuit ouvert, c'est-à-dire que l'air est expiré dans l'atmosphère environnante. Il pèse 15 kg. Il offre une autonomie limitée de 30 minutes.
    - Des **ARI** conférant une plus grande autonomie existent et sont à la disposition de la **CMIC** de la Gironde :
      - L'**ARI** dit « Triplair ® » fonctionne aussi en circuit ouvert. Il pèse 17.5 Kg. Son autonomie théorique est de 2 heures.
      - L'**ARI** dit « PSS BG 4 ® » est un **ARI** à circuit fermé. L'air expiré est en effet épuré du dioxyde de carbone et rechargé en oxygène pour le cycle respiratoire suivant. Son poids est inférieur à celui de l'**ARI** dit « Triplair » (-2.1 kg). Il offre une autonomie théorique de 4 heures.

## 5. RAPPELS DE THERMOREGULATION

---

L'être humain est un organisme homéotherme, c'est-à-dire qu'il maintient sa température interne relativement constante. Les réactions enzymatiques et l'activation des principaux mécanismes intracellulaires à la base du bon fonctionnement de l'organisme, surviennent préférentiellement entre 36°C et 37.5°C. La température corporelle devra donc osciller autour de 37°C, température corporelle normale. Cela est possible grâce à une fine régulation physiologique de la température corporelle, thermorégulation, qui vise à l'équilibre du bilan thermique, c'est-à-dire l'équilibre entre la production interne de chaleur par l'organisme et les pertes de chaleur vers le milieu ambiant.

### 5.1. ACTEURS DE LA THERMOREGULATION

Les variations de température sont perçues par des thermorécepteurs. Il s'agit de neurones sensitifs sensibles à la fois au niveau de température et à son sens de variation. Les thermorécepteurs sont périphériques ou centraux, sensibles au froid ou au chaud.

Les thermorécepteurs périphériques sont disséminés dans la peau à proximité des capillaires sanguins. Ceux sensibles au froid sont situés dans l'épiderme tandis que ceux sensibles au chaud sont dispersés dans le derme.

Les thermorécepteurs profonds sont situés au niveau des organes intra-abdominaux, des gros troncs veineux, des muscles squelettiques, de la moelle épinière et de l'hypothalamus.

Les thermorécepteurs transmettent les informations concernant la température (cutanée, sanguine, profonde) sous forme d'influx nerveux, par l'intermédiaire de la moelle épinière jusqu'à l'hypothalamus et plus précisément le noyau pré-optique qui assure un véritable rôle de thermostat de l'organisme. Il induit des réponses thermorégulatrices sous forme d'influx nerveux qui se propagent vers deux autres régions hypothalamiques appelées centre de la thermolyse (partie antérieure de l'aire pré-optique) et centre de la thermogenèse (partie postérieure de l'hypothalamus). Une fois stimulés par le noyau pré-optique, ces centres déclenchent une série de réactions qui entraînent respectivement soit une diminution soit une augmentation de la température corporelle.

## **5.2. VARIATIONS PHYSIOLOGIQUES DE LA TEMPERATURE**

Il existe une fluctuation normale de la température au cours de la journée (rythme nyctéméral), du mois (cycle menstruel) ainsi qu'au cours de la vie en rapport avec l'âge.

En effet, la température centrale augmente au cours de la journée du fait de la production de chaleur liée à l'activité musculaire. D'abord basse au réveil avec environ 36.1°C, elle augmente progressivement jusqu'à un pic à environ 37.2°C pour finalement redescendre la nuit au cours du sommeil.

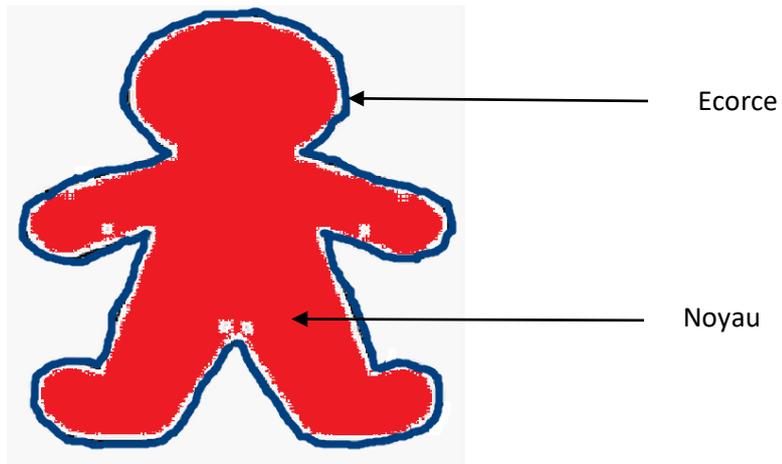
De plus, chez la femme, la température corporelle fluctue de 0.5 à 0.8°C au cours cycle menstruel normal. Il s'opère, lors de la phase lutéale, une élévation de la température centrale en lien avec la sécrétion de progestérone qui agit sur les thermorécepteurs centraux.

De même, les mécanismes de thermorégulation diffèrent aux âges extrêmes de la vie, chez le nouveau-né ou chez la personne âgée. Les mécanismes de thermorégulation du nouveau-né manquent d'efficacité par immaturité du système nerveux central. Concernant la personne âgée, la diminution des capacités cardiovasculaires et de la thermosensibilité, les modifications structurelles cutanées et les réactions comportementales inadaptées au stress thermique impactent leurs capacités à maintenir une température corporelle constante, particulièrement dans des conditions thermiques extrêmes (4).

Enfin, lors de l'activité physique, l'énergie musculaire est libérée pour 75% sous forme de chaleur, si bien que l'organisme doit ajuster ses pertes de chaleur en conséquence, en fonction des conditions ambiantes.

## **5.3. LES ECHANGES THERMIQUES**

Afin de mieux comprendre les mécanismes intervenant dans le maintien d'une température corporelle constante chez l'homme, nous pouvons représenter le corps humain par un modèle bi-compartimental composé d'un noyau central et d'une « écorce » ou enveloppe périphérique. Le noyau central est constitué des organes à haut niveau de métabolisme (cerveau, cœur, foie) tandis que l'écorce représente la peau et le tissu sous-cutané.



*Figure 6 : modèle bi-compartimental*

Nous avons vu précédemment, que la relative stabilité de la température du noyau central, repose sur une balance dynamique entre production de chaleur (thermogénèse) et perte de chaleur (thermolyse) par l'organisme. La production de chaleur résulte de notre métabolisme. Quant à la perte de chaleur, elle respecte un gradient thermique, du chaud vers le froid si bien que dans la situation classique où la température corporelle est supérieure à la température ambiante, la chaleur est transmise de la profondeur à la surface du corps puis cédée à l'environnement ambiant.

Les échanges thermiques de l'organisme avec le milieu ambiant s'opèrent selon quatre mécanismes : conduction, convection, radiation et évaporation.

La **conduction** est l'échange de chaleur entre deux corps solides en contact, l'organisme, étant ici apparenté à un solide quelconque. L'efficacité du transfert de chaleur par conduction dépend de la conductivité du solide en contact, de la surface de peau en contact avec l'objet. La surface de contact étant classiquement limitée, la quantité de chaleur transférée par ce mécanisme s'avère négligeable.

Les échanges par **convection** s'effectuent entre deux milieux de températures différentes se déplaçant l'un par rapport à l'autre. Ce type d'échange se produit entre le noyau et l'écorce périphérique via la circulation sanguine. On retrouve également ce type d'échange entre la surface de la peau et le fluide qui entoure l'organisme (gaz ou liquide).

La **radiation** correspond à un rayonnement électromagnétique qui se transfère entre deux corps distants et de températures différentes. On y inclut les rayonnements ultra-violets provenant du soleil et le rayonnement infra-rouge émis par l'organisme.

L'**évaporation** est le moyen le plus efficace pour éliminer la chaleur produite par le corps humain. La perte de chaleur par évaporation a lieu aussi bien au niveau pulmonaire qu'au niveau cutané. La peau est le siège de la perspiration correspondant à une diffusion passive au travers de l'épiderme puis évaporation à la surface de la peau. La quantité d'eau ainsi éliminée est de 25 grammes par heure, soit 600 grammes par jour. La sudation est un moyen d'évaporation encore plus efficace à condition que la sueur soit effectivement évaporée. Pour cela, il faut que l'air ambiant soit renouvelé et non saturé en vapeur d'eau.

## **5.4. EQUILIBRE DES ECHANGES THERMIQUES**

L'équilibre du bilan thermique n'est possible que si les apports de chaleur à l'organisme sont strictement compensés par la thermolyse.

### **5.4.1. APPORTS DE CHALEUR**

L'organisme dispose de deux moyens d'emmagasiner de la chaleur : la production interne de chaleur et l'absorption de chaleur du milieu ambiant. La production interne de chaleur ou thermogénèse constitue la principale source de gain de chaleur.

La production de chaleur est due aux activités métaboliques de l'organisme et à l'énergie libérée par la contraction musculaire. Cette production est donc relativement constante dans certains organes tels que le foie ou le cœur (métabolisme stable). En revanche, la quantité de chaleur produite s'avère beaucoup plus variable au niveau des muscles squelettiques, où elle dépend de l'activité physique. Au repos, la quantité de chaleur produite par le muscle est relativement faible, environ 1 KJ par minute, ce qui correspond à 25 % de la dépense énergétique de fond, considérant que la masse musculaire représente 40 % de la masse corporelle. Au contraire, la chaleur produite par un muscle particulièrement sollicité lors d'un effort intense est multipliée par 75 à 80 (5). Sans perte de chaleur compensatrice, cette production d'énergie thermique d'origine musculaire entraînerait une augmentation délétère de la température corporelle.

#### 5.4.2. APPORTS EXTERIEURS DE CHALEUR

L'organisme peut recevoir l'apport de chaleur extérieure provenant d'objets plus chauds tels que le soleil, les murs d'une pièce chauffée (radiation directe), ou le ciel (radiation réfléchi). La quantité de chaleur apportée par radiation dépend de la surface cutanée exposée mais est tout à fait indépendante de la température de l'air.

Lorsque la température de l'air s'avère supérieure à la température cutanée, l'organisme recevra un apport supplémentaire de chaleur par convection (inversion du gradient habituellement observé entre l'organisme et le milieu ambiant). En cas de contact entre le corps et un solide dont la température serait plus élevée, on observera un gain de chaleur supplémentaire par conduction.

#### 5.4.3. THERMOLYSE

La thermolyse représente les processus de dissipation de l'énergie thermique provenant de l'organisme vers le milieu extérieur. Cette perte de chaleur s'effectue selon les 4 modes d'échanges thermiques sus-cités.

La radiation représente le principal mode de perte de chaleur, environ 60% de la perte calorique, dans des conditions ambiantes tempérées. Cependant, ce mode ainsi que la conduction et convection sont peu efficaces lorsque la température ambiante est supérieure à la température corporelle.

Dans ces conditions, la dissipation de chaleur par évaporation est la plus performante. L'évaporation implique deux mécanismes : la perspiration et la sudation. Le premier est un phénomène passif alors que le second est un mécanisme actif.

##### 5.4.3.1. La sudation

La sueur est produite par les glandes sudoripares dont il existe deux types : les glandes eccrines et les glandes apocrines. Ces dernières sont associées aux follicules pileux et se trouvent principalement au niveau des aisselles et autour des mamelons. Leur importance dans la production de sueur n'est qu'accessoire par rapport aux glandes eccrines. Celles-ci, dont le nombre varie entre 1,6 et 4 millions sont présentes sur l'ensemble du revêtement cutané avec une densité variable selon les régions anatomiques. Leur densité est particulièrement élevée au niveau du front (6). La glande eccrine est constituée d'un tubule s'ouvrant au niveau de l'épiderme. Dans sa partie superficielle ce tubule est droit et forme le canal excréteur. Dans sa partie profonde il est enroulé sur lui-même en formant une sorte de glomérule.

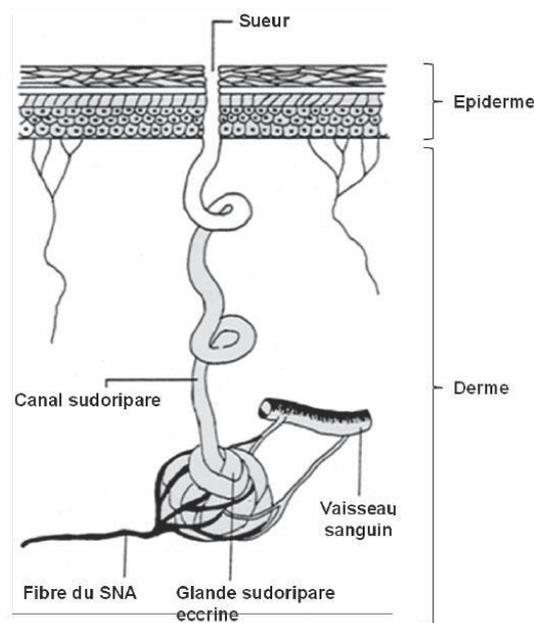


Figure 7 : Anatomie de la glande eccrine (7)

La sudation est principalement contrôlée par l'hypothalamus pré-optique antérieur, qui envoie des fibres dans les racines ventrales de la moelle, faisant relais dans les ganglions sympathiques para vertébraux. Les fibres post-ganglionnaires utilisent les nerfs spinaux pour se distribuer aux glandes sudoripares. L'acétylcholine est le neuromédiateur favorisant la sécrétion d'un fluide isotonique, dépourvu de protéines, au niveau glomérulaire. Une réabsorption de sodium et de chlore a lieu dans le canal excréteur ce qui explique le recueil d'un fluide hypotonique au plasma à la surface cutanée. La composition ionique de la sueur est influencée à la fois par le débit sudoral, la région anatomique, l'acclimatation ou non du sujet à la chaleur (8).

C'est l'évaporation de la sueur à la surface de la peau qui permet le transfert de chaleur du corps à l'environnement. Chaque gramme de sueur, transformée en vapeur d'eau, permet en effet de dissiper 584 calories (9).

L'équilibre thermique lors d'un exercice physique et/ou d'une exposition à la chaleur s'obtient au prix d'une production abondante de sueur. Un sujet acclimaté peut en effet produire jusqu'à 2-3 litres par heure de sueur contre 1 litre par heure chez le sujet non acclimaté. Cependant, le maintien d'un tel débit ne peut excéder 4 à 6 heures d'exposition à la chaleur. Le principal facteur limitant étant la disponibilité de l'eau pour la production de sueur. D'autre part, il est possible que l'humidification prolongée de la peau finisse par faire gonfler sa couche cornée, ce qui aurait pour conséquence de réduire le débit sudoral. Une sudation abondante, qui ne serait pas compensée par une hydratation satisfaisante, conduit à la déshydratation. L'hypovolémie et l'hyperosmolarité qui en résultent, perturbent les réponses thermorégulatrices en majorant le seuil de déclenchement de la sudation, d'une part et abaissant le débit sudoral d'autre part (10).

La sudation dépend aussi de la réponse cardio-vasculaire au stress thermique, dont nous allons voir les implications en terme de thermorégulation.

### 5.4.3.2. Réponse cardio-vasculaire

#### 5.4.3.2.1. Régulation de la vasomotricité

En réponse à une augmentation ou diminution de la température ambiante ou de la température corporelle, le flux sanguin cutané est ajusté respectivement par le biais d'une vasodilatation ou vasoconstriction. La régulation de la vasomotricité et donc du débit sanguin cutané est contrôlée par le système nerveux autonome.

Les artéριοles cutanées de la peau glabre de la paume des mains et de la plante des pieds sont uniquement innervées par des nerfs sympathiques vasoconstricteurs. Ces derniers exercent un tonus vasoconstricteur permanent, mais plus ou moins intense afin d'obtenir un débit sanguin cutané adapté à la température centrale.

A la différence de la peau glabre, la peau non glabre du reste du corps reçoit une double innervation par des nerfs noradrénergiques vasoconstricteurs et des nerfs cholinergiques vasodilatateurs. Lorsque l'organisme est soumis à une ambiance chaude, si la perte de chaleur par convection résultant de la relaxation du tonus vasoconstricteur est insuffisante pour refroidir le corps ; alors une vasodilatation active intervient.

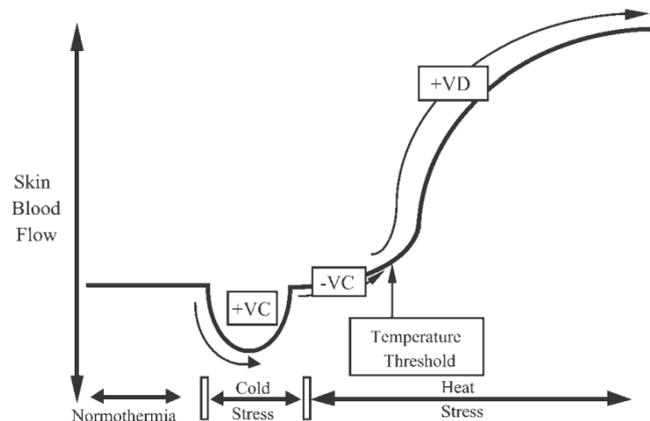


Figure 8 : Variation du tonus vasomoteur cutané et du flux sanguin cutané lors d'un stress thermique (11)

Cette vasodilatation permet une augmentation importante du flux sanguin cutané. Le principal médiateur de cette vasodilatation active est l'acétylcholine, qui agit aussi en faveur de la production de sueur comme vu précédemment.

#### 5.4.3.3. Adaptation cardiaque

Une élévation du débit cardiaque est nécessaire afin d'assurer un débit sanguin cutané suffisant pour permettre le transfert de chaleur du noyau vers l'écorce. L'augmentation du débit cardiaque est dû essentiellement à l'élévation de la fréquence cardiaque. Lors de l'exposition passive à la chaleur, le volume d'éjection systolique est maintenu, malgré la diminution du volume sanguin circulant et des pressions de remplissage du cœur. Cela suggère que l'exposition à la chaleur améliore l'inotropisme cardiaque (12). De plus, il semblerait que l'innervation cardiaque sympathique joue un rôle majeur de cette réponse cardiaque lors d'une exposition à la chaleur (13).

Chez une personne travaillant en ambiance chaude, l'élévation de la fréquence cardiaque comporte une part liée à la perfusion des muscles : les pulsations cardiaques motrices (**PCM**) ; une part contribuant à la thermorégulation : les pulsations cardiaques thermiques (PCT). Définies par Vogt et al en 1971, les **PCT** représentent la fraction du débit cardiaque dévolu au débit sanguin cutané. Leur calcul, va permettre d'évaluer l'augmentation de la température centrale. En pratique, considérant que la composante de la fréquence cardiaque liée au travail (**PCM**) disparaît en quatre minutes, on mesure la fréquence cardiaque après exposition à la chaleur (**FcR**) à 3, 4 et 5 minutes de repos. Les **PCT** sont données par la différence entre cette fréquence cardiaque à 3, 4 et 5 minutes après l'arrêt de l'effort (**FcR**) et la fréquence cardiaque de repos (**Fc0**).

$$\mathbf{PCT} = \mathbf{FcR} - \mathbf{Fc0}$$

$$\mathbf{FcR} = (\mathbf{Fc3} + \mathbf{Fc4} + \mathbf{Fc5}) / 3$$

Les travaux de Vogt et Metz concluent à ce que 33 **PCT** correspondent à une augmentation de 1° Celsius de la température centrale. D'autres auteurs ont trouvé des valeurs proches. Cependant, ces relations n'ont été validées qu'en situation de laboratoire. Meyer a validé le même genre de relation entre l'astreinte thermostatique et les PCT, en situation de travail cette fois. S'appuyant sur d'autres travaux considérant la température buccale comme une bonne approximation de la température centrale, il a établi qu'en moyenne 31 **PCT** correspondent à une augmentation de 1° Celsius de la température buccale (14).

## **5.5. PATHOLOGIES LIEES A LA CHALEUR**

Les pathologies liées à la chaleur peuvent se concevoir comme un continuum trouvant son origine soit dans une mise en jeu excessive de la thermorégulation soit dans la défaillance de la thermorégulation. Dans le premier cas, la température centrale est maintenue au prix d'une sudation excessive provoquant la déshydratation. Dans le second cas, les systèmes de régulation sont dépassés induisant une augmentation délétère de la température centrale.

### **5.5.1. MISE EN JEU EXCESSIVE DE LA THERMOREGULATION**

#### **5.5.1.1. Déshydratation**

La déshydratation s'explique par le déséquilibre entre les pertes liées à la sudation et des apports hydriques insuffisants. Nous avons vu précédemment que chez un sujet acclimaté, la sudation peut atteindre 3 litres par heure. En l'absence d'apport hydrique, ce même sujet de 70 Kg diminuera sa masse corporelle d'un peu plus de 4 % après une heure d'exercice. Une telle perte est préoccupante et loin d'être improbable. En effet, une perte hydrique correspondant à 2 % de la masse corporelle entraîne déjà une baisse des performances physiques, musculaires notamment (15) (16) et des capacités de travail d'environ 20% selon Holmer (17). De même, la sensation de soif étant tardive, le sujet est déjà en situation d'hypohydratation (< 2% de masse corporelle) lorsque la sensation de soif survient (18).

Cliniquement, le signe le plus évocateur est la perte de poids. La personne déshydratée, a soif, ses muqueuses sont sèches et ses urines sont rares et concentrées. A un stade plus évolué, les signes d'hypovolémie surviennent, en particulier l'hypotension orthostatique avec tachycardie.

#### **5.5.1.2. Crampes de chaleur**

Les crampes de chaleur surviennent pendant ou après l'effort et affectent les plus gros muscles squelettiques sollicités. Habituellement, ce sont les muscles des membres inférieurs qui sont le siège de spasmes étendus et sévères. Ces crampes durent en général moins d'une minute mais sont parfois très douloureuses.

Elles sont attribuées à une sudation excessive à l'origine d'une double perte hydrique et sodée.

Le traitement comporte le repos, des étirements, une supplémentation sodée par hydratation orale voire intraveineuse.

#### 5.5.1.1. Syncope de chaleur

Lors d'un effort physique pratiqué en ambiance chaude, la vasodilatation cutanée est indispensable à la perte calorifique. Cette vasodilatation cutanée contrarie le maintien d'une pression artérielle stable obtenue au seul prix d'une augmentation du débit cardiaque et d'une vasoconstriction splanchnique. Dans les conditions extrêmes, le maintien de la pression artérielle devient prioritaire par rapport à la régulation thermique et, au niveau cutané, les influx vasoconstricteurs provenant des barorécepteurs l'emportent sur les influx vasodilatateurs d'origine thermique. Mais le maintien de la pression artérielle est précaire, notamment si le sujet effectuant un travail lourd en position debout, en ambiance chaude, arrête son effort. Le pompage musculaire ne joue plus son rôle favorisant le retour veineux, lequel diminue, induisant une baisse du débit cardiaque, l'effondrement de la pression artérielle et finalement, une syncope.

La prise en charge consiste à allonger la personne dans une zone ombragée et fraîche, les jambes surélevées au-dessus du niveau du cœur. Il faut réhydrater la personne, rafraichir sa peau et monitorer ses paramètres vitaux.

#### 5.5.2. DEFAILLANCE DE LA THERMOREGULATION

Lorsque les mécanismes de thermorégulation sont dépassés, l'épuisement lié à la chaleur et le coup de chaleur surviennent. Tandis que le premier est réversible, le coup de chaleur engage le pronostic vital.

##### 5.5.2.1. Epuisement lié à la chaleur

L'épuisement à la chaleur est la plus commune des pathologies liées à la chaleur. Il résulte d'une déshydratation plus ou moins sévère (supérieure à 3% de la masse corporelle). Dans les cas sévères d'épuisement à la chaleur, il existe une incapacité à maintenir un débit cardiaque suffisant pour empêcher l'élévation de la température centrale, qui reste toutefois inférieure au seuil critique de 40°Celsius.

Il existe une multitude de symptômes associés à l'épuisement lié à la chaleur, parmi lesquels on peut citer : faiblesse, nausée, sensation vertigineuse, céphalée. La personne en état d'épuisement lié à la chaleur, présente une soif intense, sa peau est pâle et moite. Il est tachycarde et sa pression artérielle est normale ou basse.

La prise en charge de l'épuisement lié à la chaleur consiste en l'arrêt de l'activité. Le repos s'effectue dans un local frais, en décubitus dorsal, les membres légèrement surélevés. Les vêtements qui empêchent la dissipation de chaleur doivent être retirés. La réhydratation avec des boissons fraîches salées est parfois complétée par une réhydratation parentérale.

La surveillance doit se focaliser sur la température corporelle et l'état de conscience, dont l'élévation au-dessus de 40°Celsius et l'altération respectivement doivent faire craindre une évolution vers un coup de chaleur.

L'épuisement lié à la chaleur ou épuisement hyperthermique peut être considéré comme une forme mineure de coup de chaleur.

#### 5.5.2.2. Coup de chaleur

Il existe deux types de coup de chaleur : le coup de chaleur de repos ou coup de chaleur classique (**CCC**) et le coup de chaleur d'exercice (CCE).

Le premier survient chez des personnes généralement incapables de se réhydrater par elle-même (nourrissons, personnes âgées) ou vulnérables (insuffisant cardiaque, respiratoire) exposées de façon prolongée à un environnement trop chaud, notamment lors des vagues estivales de canicule.

Le coup de chaleur d'exercice se produit pendant ou au décours d'un exercice physique intense et prolongé. Il est parfois précédé de prodromes, mais dans la majorité des cas son début est brutal et le sujet arrête son effort soit spontanément, soit du fait de troubles de la conscience. Les dysfonctionnements du système nerveux central (delirium, convulsions, coma) et l'élévation de la température corporelle au-dessus du seuil de 40° Celsius définissent le coup de chaleur et le distinguent de l'épuisement lié à la chaleur.

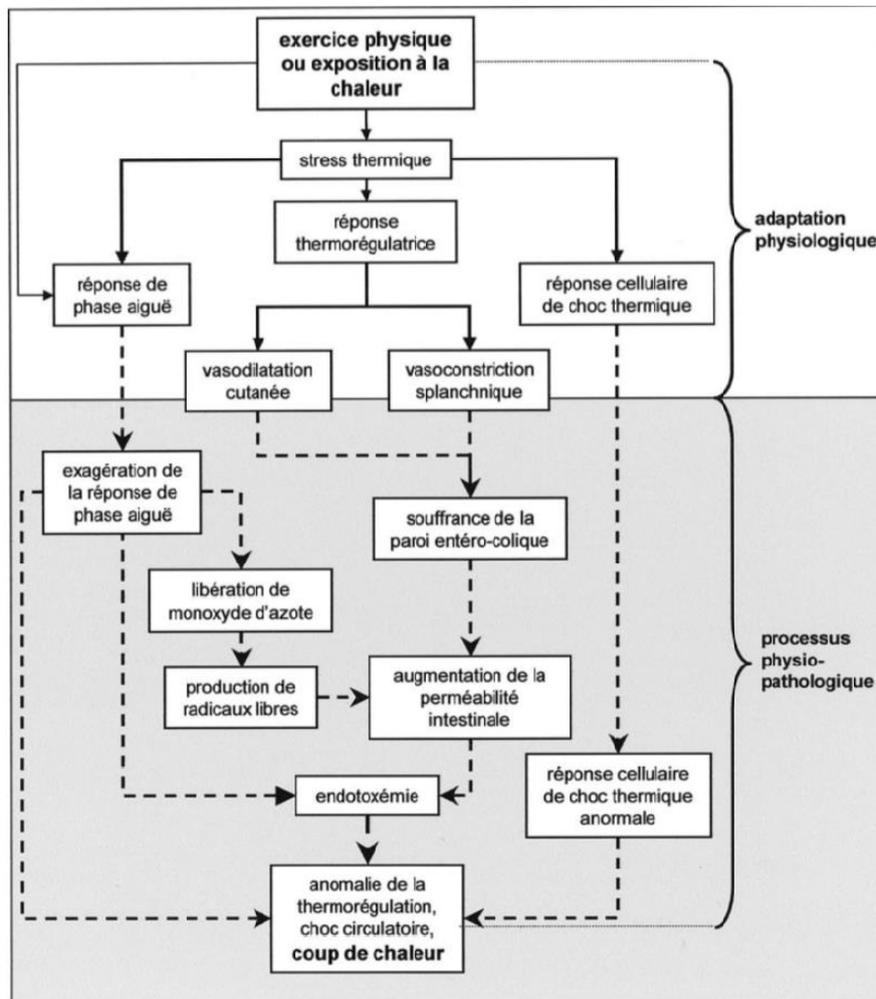
Cliniquement, la peau du sujet est toujours très chaude et souvent sèche. La tachycardie est constante et les vomissements sont fréquents.

La physiopathologie du coup de chaleur est complexe. La survenue du coup de chaleur à l'occasion d'un stress thermique serait liée à la fois à la défaillance de la thermorégulation, à une exagération de la réponse de phase aigüe ainsi qu'à une altération de la réponse cellulaire de choc thermique (19).

Nous avons vu précédemment que l'adaptation cardiaque normale à un stress thermique est l'élévation du débit cardiaque. L'incapacité à fournir ce travail cardiaque supplémentaire en raison d'une déplétion hydrosodée, d'une pathologie cardiaque sous-jacente, de la prise de médicaments augmente la susceptibilité au coup de chaleur.

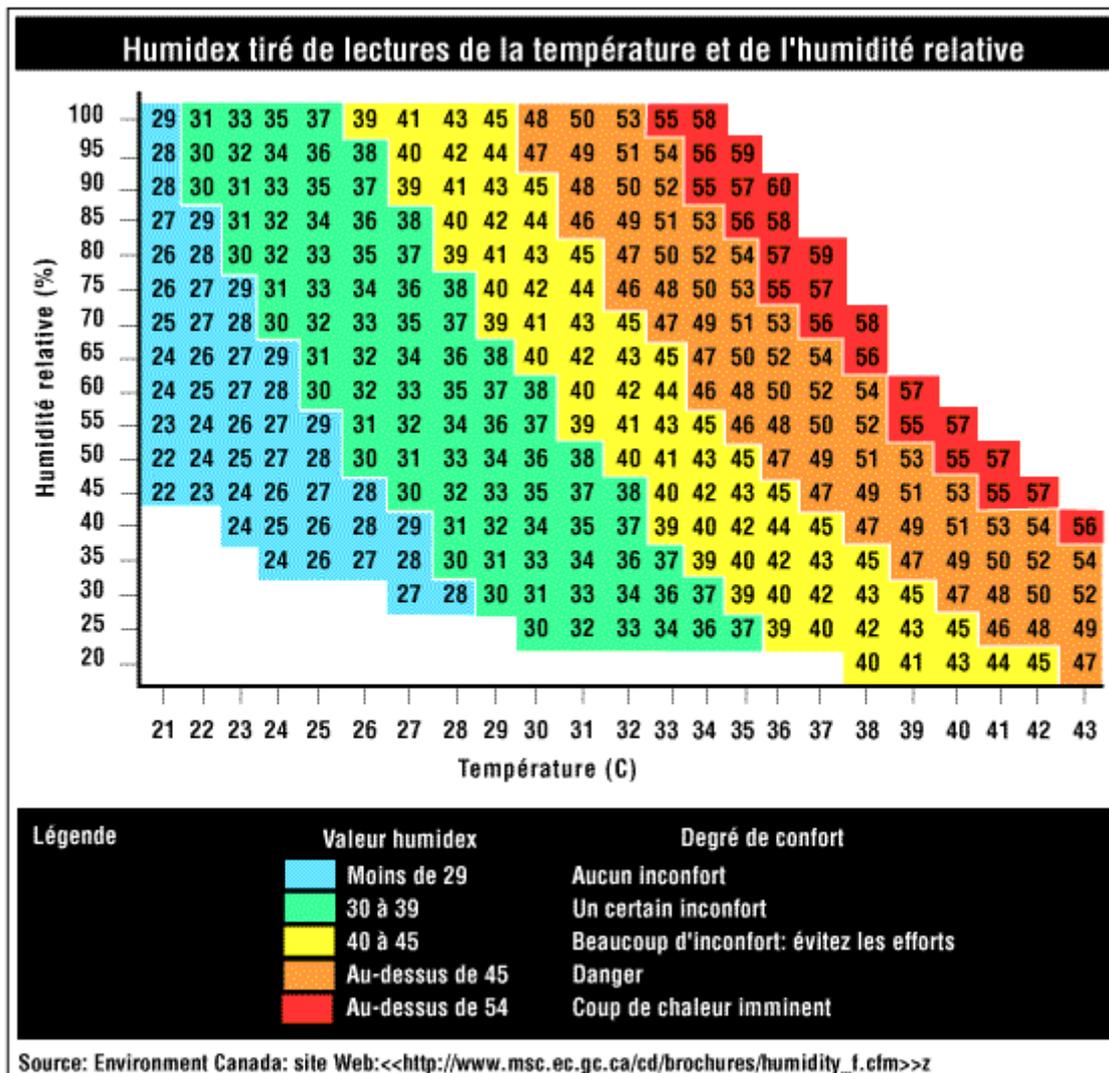
Lors d'un exercice physique en ambiance chaude, l'augmentation du débit cardiaque se fait au profit des muscles pour des raisons métaboliques et de la peau à visée thermolytique. Cette redistribution sanguine induit une diminution du débit splanchnique, suffisante pour induire des anomalies fonctionnelles voire lésionnelles de la muqueuse entéro-colique. L'altération de la paroi colique facilite la translocation dans la circulation sanguine de bactéries et d'endotoxines. Ces dernières provoquent la production intestinale, hépatique de cytokines inflammatoires ou anti-inflammatoires. Certaines de ces cytokines sont capables d'interférer avec la thermorégulation en agissant au niveau vasculaire et au niveau cérébral.

En outre, l'élévation modérée de la température permet la production par la plupart des cellules de protéines de stress ou heat shock protéines (**HSP**). Ces protéines chaperonnes se lient aux protéines cellulaires altérées et évitent la mort cellulaire. Une faible expression de ces **HSP** chez un sujet non acclimaté à la chaleur, chez une personne âgée, peut favoriser la survenue du coup de chaleur (20).



*Figure 9 : Processus physiopathologique du coup de chaleur (21)*

Les facteurs favorisant le coup de chaleur sont à la fois, circonstanciels (fatigue, travail, motivation du sujet...), intrinsèques (pathologies chroniques, défaut d'entraînement physique, surcharge pondérale...) et extrinsèques. Parmi ces derniers, la température ambiante, un ensoleillement important sont des facteurs péjoratifs mais les facteurs les plus dangereux sont une humidité relative élevée et l'absence de vent car tous deux s'opposent à l'évaporation de la sueur. Le facteur Humidex (figure 10) mesure l'inconfort causé par l'humidité excessive et la haute température. L'habillement du sujet s'oppose également à l'évaporation de sueur.



*Figure 10 : Humidex*

Le traitement du coup de chaleur repose avant tout sur le refroidissement. Ce dernier permet d'accélérer le transfert de chaleur de la peau à l'environnement sans compromettre le débit sanguin cutané. Plusieurs techniques de refroidissement existent mais l'absence d'étude comparative ne permet pas de privilégier l'une ou l'autre de ces techniques. L'objectif poursuivi est la défervescence thermique. Il faut ramener la température corporelle centrale en dessous de 39° Celsius dans les meilleurs délais. Il faut par ailleurs, prendre en charge les fréquentes défaillances poly-viscérales.

## 5.6. RESUME – RAPPELS DE THERMOREGULATION

- L'être humain est un organisme homéotherme. Il maintient sa température interne relativement constante autour de 37° Celsius.
- Cela suppose que la production de chaleur (thermogénèse) et la perte de chaleur (thermolyse) s'équilibrent.
- Cet équilibre thermique est obtenu grâce à une boucle de régulation : thermorégulation.
- Cette dernière met en jeu des thermorécepteurs périphériques et centraux qui transmettent une information électrique à l'hypothalamus : véritable centre régulateur.
- Les échanges thermiques respectent un gradient chaud-froid. En climat tempéré, les échanges thermiques se font donc de l'organisme vers le milieu ambiant et selon quatre mécanismes : conduction, convection, radiation, évaporation.
- Lorsque la température ambiante est supérieure à la température corporelle, l'évaporation est le mécanisme de thermolyse le plus efficace. Chaque gramme de sueur, transformée en vapeur d'eau, permet en effet de dissiper 584 calories.
- L'exposition à la chaleur implique une adaptation cardiovasculaire avec d'une part une vasodilatation cutanée et d'autre part une augmentation du débit cardiaque.
- L'augmentation du débit cardiaque repose essentiellement sur une augmentation de la fréquence cardiaque, les pulsations cardiaque thermique (PCT). Vogt a établi que 33 **PCT** correspondent à une augmentation d'un degré de la température centrale.
- Une mise en jeu excessive de la thermorégulation peut aboutir à la déshydratation, à des crampes de chaleur et une syncope de chaleur.
- Plus grave, car potentiellement mortel, un coup de chaleur peut survenir lorsque la thermorégulation est dépassée.

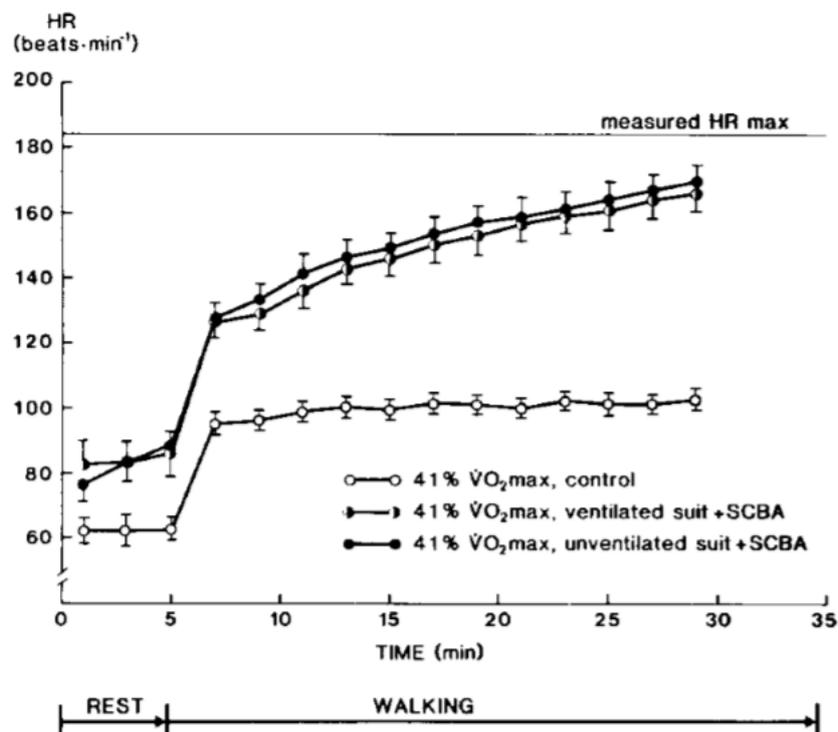
## 6. CONTRAINTES PHYSIOLOGIQUES DES EPI

Nous avons vu que pour se protéger des gaz et liquides toxiques, les équipiers de la cellule mobile d'intervention chimique utilisent parfois et de manière combinée l'**EPI** de type 1A et un appareil respiratoire isolant. Nous allons maintenant analyser leur impact sur la physiologie humaine.

### 6.1. CONTRAINTES PHYSIOLOGIQUES DE L'EPI DE TYPE 1A

#### 6.1.1. IMPACT CARDIO-RESPIRATOIRE

Le port d'une tenue de protection chimique, telle que l'**EPI** de type 1A augmente le travail cardio-respiratoire. C'est ce que montre Smolander et al (22) dans une étude comparant la réponse cardiorespiratoire lors d'efforts d'intensités variables réalisés avec ou sans tenue de protection chimique. La consommation d'oxygène et la production de dioxyde de carbone sont significativement plus importantes chez les porteurs de la tenue de protection chimique par rapport au groupe contrôle (sans tenue de protection chimique). Il ressort de cette étude que la fréquence cardiaque augmente régulièrement vers la fréquence cardiaque maximale théorique lors d'un effort d'intensité élevée (41% de la **VO<sub>2</sub> max**) réalisé avec la tenue de protection chimique.



*Figure 11 : Variation de la fréquence cardiaque en réponse au port ou non d'une tenue de protection chimique à différents niveaux d'effort (22)*

### 6.1.2. IMPACT SUR LA THERMOREGULATION

Lors d'un effort physique et d'autant plus lorsqu'il est effectué dans une ambiance chaude, l'évaporation de la sueur représente le moyen le plus efficace pour dissiper de la chaleur et éviter une augmentation fatale de la température corporelle.

L'**EPI** de type 1A : tenue de protection chimique, imperméable au gaz, isole son porteur du milieu environnant et le protège ainsi d'une possible intoxication. En contrepartie, la tenue de protection chimique, constituant une barrière au transfert de chaleur, contrarie thermolyse. Cette barrière est formée par le vêtement lui-même, mais également par l'air encapsulé à l'intérieur de la tenue, ainsi que par l'air ambiant lié à la couche externe de cette même tenue.

L'effet de la tenue de protection chimique sur les échanges thermiques dépend de deux propriétés : son isolement thermique et son indice de perméabilité (résistance à l'évaporation).

L'isolement thermique correspond à la résistance au transfert de chaleur par convection, radiation et conduction. L'unité de cette propriété est le **Clo**.

Plus que la nature de la fibre qui compose le vêtement de protection, c'est l'épaisseur de la tenue qui détermine son isolement thermique (23).

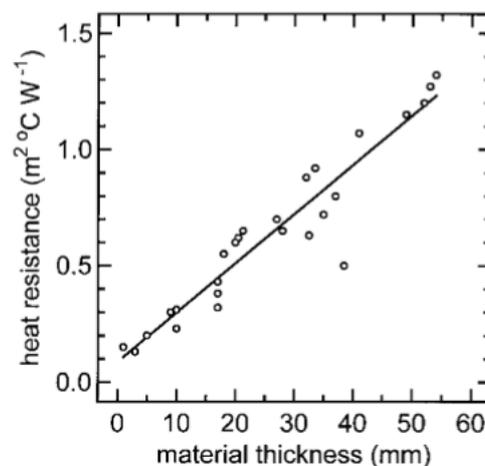


Figure 12 : Relation entre l'isolation thermique d'un vêtement et son épaisseur (Havenith, 1993) (24)

L'indice de perméabilité correspond à la résistance au transfert de chaleur par évaporation. Cet indice exprimé en  $\text{KPa}/\text{m}^2/\text{W}$ , est influencé par la taille des pores et l'épaisseur des couches qui composent le vêtement. Plus les pores sont petits et plus les couches de vêtements sont épaisses, moins la perméabilité à la vapeur d'eau du vêtement est grande.

L'**EPI** de type 1A est caractérisé par une résistance à l'évaporation élevée (cf tableau 3 ci-dessous), ce qui explique la constitution d'un microclimat chaud et saturé en vapeur d'eau lors de l'utilisation de cette tenue. Ce microclimat n'est plus propice à l'évaporation de la sueur qui ruisselle sur le corps (mouillure cutanée) sans permettre de perte calorifique. Cette mouillure cutanée, inconfortable pour le sujet, peut de plus favoriser les atteintes cutanées liées à la macération (irritation, mycoses, ...).

**Table 2. Thermal properties of selected protective clothing ensembles compiled from various sources**

Clothing	I <sub>cl</sub> , clo	I <sub>rot</sub> , clo	i <sub>m</sub> , n.d.	R <sub>et</sub> , kPa m <sup>2</sup> /W (10 <sup>-3</sup> )
Nude	0	0.7	0.50	13
Cotton shirt and trousers, underwear, socks, shoes	0.65	1.25	0.42	28
Coverall, T-shirt, underwear, socks, shoes	0.84	1.41	0.42	31
Cotton shirt and pants (flame resistant), underwear, T-shirt, belt, socks, shoes	1.00	1.51	0.32	44
Aluminized apron, cotton shirt and trousers, underwear, socks, shoes	0.77	1.33	0.38	32
Aluminized coat hip-length, cotton shirt and trousers, underwear, socks, shoes	1.36	1.89	0.33	53
Aluminized overjacket and overtrousers, coverall, long underwear, socks, shoes	1.48	2.0 (1.1*)	0.15	70*
Chemical protective suit (Goretex), coverall, long undershirt and underpant, socks, shoes	1.4	1.9 (1.3*)	0.33	37*
Chemical protective suit (impermeable), coverall, long undershirt and underpant, socks, shoes	1.4	1.9 (1.1*)	0.06	180*
Firefighter's turnout coverall, trousers, shirt, underwear, gloves and socks		2.42	0.36	62

Values are obtained with measurements on manikins. Values marked with \* denote data obtained with measurements on subjects during work in a climatic chamber. Table modified from Holmér<sup>4, 24</sup>.

**Tableau 3 : Isolation thermique et résistance à l'évaporation de différentes tenues de protection (23)**

Finalement, l'**EPI** de type 1A aggrave l'astreinte thermique, en limitant voire en bloquant l'évaporation de la sueur, source essentielle de dissipation de chaleur lors d'un travail en ambiance chaude.

**6.1.3. AUTRES CONTRAINTES**

L'**EPI** de type 1A est aussi responsable d'une contrainte mécanique par le surpoids d'équipement qu'il représente.

Ce scaphandre « anti gaz » génère des contraintes neurosensorielles. Il modifie le schéma corporel notamment lorsqu'il gonfle sous l'effet de l'air expiré au moyen de l'appareil respiratoire isolant à circuit ouvert. La vision est perturbée du fait de la réduction du champ visuel au travers de la visière de l'**EPI** de type 1A.

De plus, la buée qui se forme sur la pièce faciale et sur la visière de l'**EPI** de type 1A, altère un peu plus la vision. La dextérité est aussi affectée par la superposition de couches (gant coton, gant chimique, gant cryogénique) pour la protection des mains (25).

## **6.2. CONTRAINTES PHYSIOLOGIQUES DE L'ARI**

### **6.2.1. IMPACT CARDIORESPIRATOIRE**

Quelques études ont montré une réduction des capacités physiques liée à l'utilisation d'un appareil respiratoire isolant à circuit ouvert.

Selon Louhevaara qui a particulièrement étudié le sujet, cette baisse des performances physiques lors de l'utilisation d'un **ARICO** est due aux facteurs suivants : l'augmentation de la résistance inspiratoire, l'augmentation de la résistance expiratoire, l'augmentation de l'espace mort, le poids de l'**ARI** (26). Plus récemment, Eves dans une étude de 2005 (27) confirme la réduction des performances physiques liée au port d'**ARICO** à circuit ouvert « moderne ». Il retrouve en effet, une baisse d'environ 15% de la **VO2** max. Cette réduction de la **VO2** max serait davantage liée à l'augmentation de la résistance expiratoire qu'au poids de l'**ARI** (27).

L'augmentation de la résistance expiratoire a également des répercussions sur la fonction ventriculaire gauche. La résistance expiratoire est en effet responsable d'une hyperpression thoracique, réduisant le retour veineux et donc la pré-charge du ventricule gauche. Le maintien du volume d'éjection systolique est obtenu grâce à une augmentation de la contractilité du ventricule gauche (28). En situation de stress thermique et d'hypohydratation, le maintien du volume d'éjection systolique n'est pas observé par Nelson et al. (29).

Le port de l'**ARI**, avec le port de charge conséquent (15 à 17.5 Kg en fonction du type d'**ARI**) qu'il représente, augmente le travail cardiorespiratoire. Selon une étude de Borghols et al., il existe une augmentation linéaire de la consommation d'oxygène, de la ventilation pulmonaire et de la fréquence cardiaque avec l'augmentation du poids porté (cf figure 13 ci-dessous).

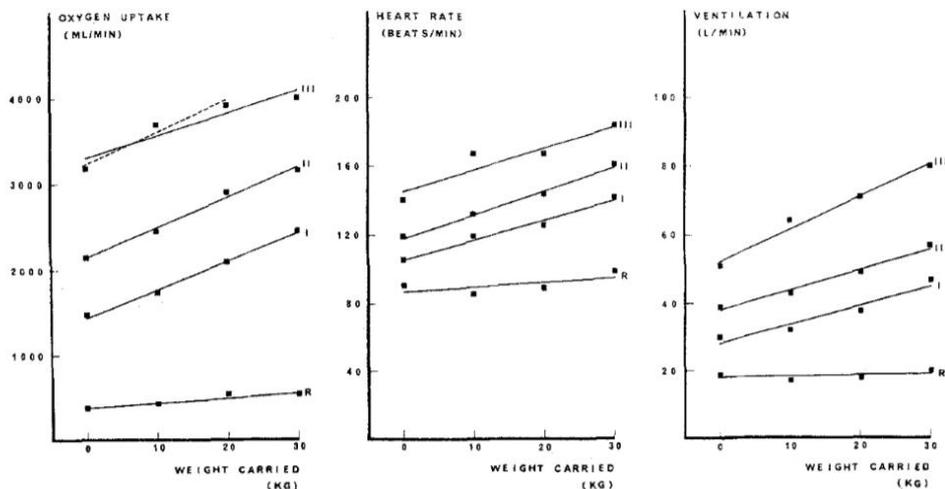


Figure 13 : Influence du port de charge sur la consommation d'O<sub>2</sub>, fréquence cardiaque et ventilation pulmonaire au repos et à différentes intensités d'exercice (R : repos ; I : 25% VO<sub>2</sub>max ; II : 50% VO<sub>2</sub>max ; III : 75% VO<sub>2</sub>max) (30)

Les auteurs de cette étude, estiment que chaque kilogramme de poids supplémentaire augmente la fréquence cardiaque d'un battement par minute et la ventilation pulmonaire de 0.6L/min.

## 6.2.2. IMPACT SUR LA THERMOREGULATION

La dissipation de chaleur par évaporation ne se produit pas qu'au niveau cutané. Elle a aussi lieu au niveau respiratoire. L'air expiré est généralement plus chaud et plus humide que l'air inspiré ; de ce fait, la ventilation pulmonaire détermine une perte de chaleur. Cette dernière est notamment fonction des caractéristiques de l'air inspiré.

La détente de l'air comprimé qu'implique le fonctionnement d'un appareil respiratoire isolant à circuit ouvert explique que l'air inspiré au moyen de cet **ARICO** soit sec et frais. Le réchauffement pulmonaire de cet air initialement frais, permet une perte non négligeable de chaleur.

Lors de l'utilisation de l'**ARICF**, avec lequel l'air expiré, chaud (37°C) et humide, est recyclé ; l'évacuation de chaleur par les voies respiratoires est perturbée. L'air inspiré est donc de plus en plus chaud au fur et mesure du temps d'utilisation. Un système de refroidissement consistant en un compartiment recevant un bloc de glace de 1.2 kilogrammes est censé limiter la montée en température de l'air inspiré. Ce dispositif n'est pas utilisé par la **CMIC** de la Gironde pour des raisons logistiques mais aussi parce que les essais de terrain ont montré un effet très limité dans le temps de l'ordre du quart d'heure d'utilisation.

### **6.3. RESUME – CONTRAINTES PHYSIOLOGIQUES DES EPI**

- L'**EPI** de type 1A, tenue de protection chimique, imperméable au gaz, augmente la contrainte cardio-respiratoire :
  - Son port augmente la fréquence cardiaque qui tend vers la fréquence cardiaque maximale théorique lors d'un effort d'intensité élevée
  - Son utilisation induit une augmentation de la consommation d'oxygène
- L'**EPI** de type 1A constitue un frein à la thermolyse par évaporation de la sueur :
  - Son important isolement thermique et sa faible perméabilité à la vapeur d'eau, expliquent la constitution d'un microclimat chaud et saturé en vapeur d'eau à l'intérieur de l'EPI, qui empêche la sueur de s'évaporer et donc de dissiper de la chaleur.
- L'**EPI** de type 1A représente une contrainte neurosensorielle par :
  - La modification du schéma corporel
  - L'altération de la vision
- L'appareil respiratoire isolant à circuit ouvert (ARICO) altère les performances physiques de l'utilisateur :
  - Cela s'observe essentiellement au travers de la baisse de la **VO2max**
  - Les principaux facteurs impactant cette dernière sont :
    - L'augmentation de la résistance expiratoire qui modifie par ailleurs la fonction ventriculaire gauche
    - Le poids de l'ARI. Chaque kilogramme de poids supplémentaire augmente la fréquence cardiaque d'un battement par minute.
- L'appareil respiratoire à circuit fermé, du fait du recyclage de l'air expiré, perturbe la dissipation de chaleur par évaporation au niveau respiratoire
- L'utilisation combiné de l'**EPI** de type 1A (tenue de protection chimique imperméable au gaz) et de l'**ARI** est indispensable à la protection de l'équipier contre l'exposition aux liquides et/ou gaz toxiques
- L'ensemble constitue néanmoins un véritable fardeau physiologique, tant au niveau cardiorespiratoire qu'en terme de thermorégulation.

# **DEUXIEME PARTIE**

## 7. ETUDE

---

### 7.1. CONTEXTE DE L'ETUDE

Les sapeurs-pompiers spécialisés en risque chimique, sont amenés à porter un appareil respiratoire isolant sous une tenue de protection chimique imperméable au gaz. Cet ensemble les protège des produits toxiques polluant la zone d'intervention.

Afin d'augmenter la sécurité collective des interventions « risque chimique », la cellule mobile d'intervention chimique (**CMIC**) de la Gironde souhaite élargir le périmètre de sécurité autour de la zone de danger chimique. Cela implique d'allonger le temps d'engagement, ce qui se heurte à deux facteurs : d'une part l'autonomie limitée de l'appareil respiratoire isolant et d'autre part la capacité du sapeur-pompier à tolérer les contraintes physiologiques induites par l'environnement et les **EPI** sur un temps plus long.

L'autonomie de l'**ARI** actuellement utilisé est de 30 minutes, ce qui est insuffisant pour augmenter le périmètre de sécurité. Une réflexion est donc engagée par la **CMIC** concernant la possibilité d'utiliser des **ARI** de « grande capacité » (Triplair® ou PSS BG4®). De nombreuses études ont montré que l'utilisation simultanée de l'**ARI** et de la Tenue de Protection Chimique (**TPC**) induisait une augmentation du travail cardiorespiratoire et de la contrainte thermique, exposant leur porteur à des risques pathologiques.

Afin de minimiser ces risques, il faut proposer l'association d'**EPI** la moins contraignante pour l'organisme. A notre connaissance, aucune étude n'a comparé les contraintes physiologiques générées par l'utilisation de deux types d'**ARI** de « grande capacité » sous une **TPC** imperméable au gaz, tel que l'**EPI** de type 1A.

Dans un contexte de menace terroriste grandissante et de réchauffement climatique, il nous paraît particulièrement important d'améliorer nos connaissances sur le sujet.

L'objectif de cette étude était donc de comparer l'astreinte thermique générée par l'utilisation de l'**ARICO** dit « Triplair® » et de l'**ARICF** dit « PSS BG 4® » portés sous l'**EPI** de type 1A en manœuvre risque chimique.

L'hypothèse était que l'**ARICF** génèrerait du fait de son mode de fonctionnement, une astreinte thermique plus importante que l'**ARICO**.

Cette étude était également destinée à apporter des arguments médicaux pour le choix de l'**ARI** de « grande capacité » le plus adapté à ce type d'intervention. Par ailleurs, les résultats pourraient apporter des enseignements pour aider à la détermination de l'aptitude à la spécialité « risque chimique » ainsi que pour le soutien sanitaire opérationnel en intervention « risque chimique ».

## 7.2. MATRIELS ET METHODES

Le projet a été validé par la Direction et par le Comité d'Hygiène de Sécurité et des Conditions de Travail du **SDIS** de la Gironde.

### 7.2.1. DEROULEMENT DE LA MANŒUVRE

Il s'agissait de manœuvres « risque chimique » réalisées chaque jeudi sur 7 semaines de juillet à septembre 2016. Ces manœuvres étaient effectuées dans le gymnase du Centre d'Intervention et de Secours (**CIS**) de Bruges.

Chaque sapeur-pompier a reçu une fiche d'information (**annexe 2**) ainsi que des conseils hygiéno-diététiques (**annexe 3**) en amont de l'épreuve.

Ces manœuvres étaient l'occasion de relever des paramètres physiologiques. Pour cette raison, le consentement éclairé (**annexe 4**) de chaque sapeur-pompier a été recueilli avant de participer à la manœuvre.

Celle-ci consistait en une marche sur tapis de course à la vitesse constante de 3 km/h et à 0 degré d'inclinaison.

La manœuvre comportait 3 phases :

- 1ere phase : marche de 15 minutes simulant la marche d'approche vers la zone de danger lors d'une intervention « risque chimique ».
- 2ème phase : pendant 10 minutes, alternance de périodes de 2 minutes, comportant successivement :
  - Pose ou dépose d'une bride (figure 14) et repos sur tapis de course. Le temps de repos dépendait du temps mis par le sujet pour poser ou déposer la bride.
  - Marche sur tapis de course à pied à 3km/h simulant un déplacement sur la zone de danger chimique
- 3ème phase : marche de 15 minutes simulant la marche retour vers la zone de soutien



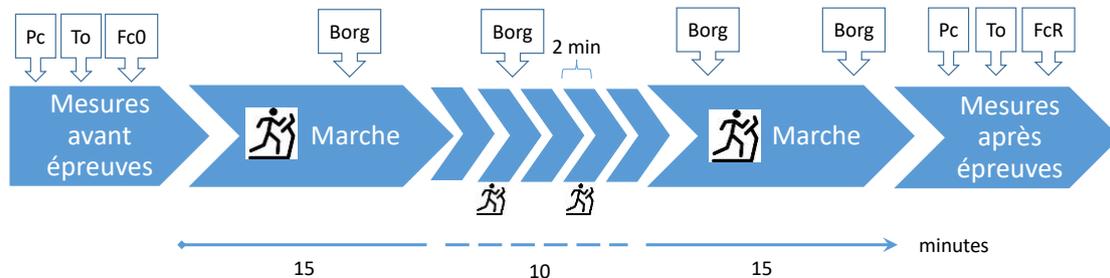
Figure 14 : Pose d'une bride

La durée totale de l'épreuve était de 40 minutes. Cette durée a été retenue afin que le temps d'engagement dépasse l'autonomie de 30 minutes conférée par l'**ARI** standard actuellement utilisé par les équipiers « risque chimique ». Cette durée permettait aussi de parcourir une distance suffisante (1.7 kilomètres) pour envisager d'élargir le périmètre de sécurité à la distance souhaitée de 500 mètres autour de la zone de danger chimique.

La manœuvre était interrompue avant son terme lorsque la réserve d'air devenait inférieure à 50 bar ou si le sujet atteignait sa Fréquence cardiaque Maximale Théorique (**FMT**) calculée par la formule d'Astrand :  $FMT = 220 - \text{âge}$  (31).

La manœuvre était arrêtée si l'équipier présentait des céphalées, vertiges, nausées, crampes. L'équipier était libre de mettre spontanément fin à l'épreuve pour toutes autres raisons.

Le déroulement de la manœuvre est schématisé à l'aide de la figure 15 :



*Figure 15 : Frise chronologique de la manœuvre. Pc (Poids corporel), To (Température orale), Fc0 (Fréquence cardiaque de repos avant manœuvre), Borg (évaluation de l'intensité de l'effort), FcR (Fréquence cardiaque de repos après manœuvre)*

Un médecin de sapeur-pompier ou un infirmier de sapeur-pompier a assuré le soutien sanitaire sur chacune des sept sessions de manœuvres.

Cette manœuvre était réalisée avec les **EPI** décrits dans la partie suivante.

### 7.2.2. EPI TESTÉS

L'étude a comparé l'**ARI** à circuit ouvert dit « TRIPLAIR » de la marque MATISEC® (**ARICO**) et l'**ARI** à circuit fermé dit « PSS BG4 » de la marque DRÄGER® (**ARICF**). L'**ARICO** a une autonomie théorique de 2 heures et pèse 17.5 kg. L'**ARICF** a une autonomie théorique de 4 heures et pèse 15.4 Kg. Contrairement à l'**ARICO**, l'**ARICF** permet un recyclage de l'air expiré qui est déchargé en **CO2** et enrichi en **O2**.

En dehors de leurs sous-vêtements et chaussettes personnels, les participants revêtaient une même tenue constituée : d'un t-shirt à manche longue et un sous-pantalon (50% polyester, 50% coton), ainsi que la tenue de protection chimique imperméable au gaz (**EPI** de type 1A) de la marque MATISEC® (figure 16) et de ses bottes.



*Figure 16 : Equipier réalisant la manœuvre avec l'ARI porté sous l'EPI de type 1A*

### 7.2.3. SUJETS

L'étude impliquait les 2 à 4 sapeurs-pompier d'astreinte présents le jour de la manœuvre.

Les 7 jours de manœuvre ont permis d'étudier 20 sapeurs-pompier spécialisés en risque chimique et donc formés au port de l'appareil respiratoire isolant et de la tenue de protection chimique.

Le critère d'inclusion était de respecter les conditions d'aptitude sapeur-pompier. L'unique critère d'exclusion était donc de ne pas être à jour de sa visite de maintien en activité. La constatation le jour de la manœuvre de toute contre-indication évidente à la pratique d'une activité physique (fièvre, céphalée, palpitation inexplorée, pathologie de l'appareil locomoteur) était également un motif de non-participation à l'épreuve.

Chaque sapeur-pompier a effectué la manœuvre à deux reprises, une fois avec l'**ARICO** et l'autre fois avec l'**ARICF**. Lors d'une même journée, un premier passage était réalisé le matin avec l'un des **ARI** tandis que le second s'effectuait l'après-midi avec l'autre **ARI**. Chaque sapeur-pompier était donc son propre témoin.

## 7.2.4. CRITERES DE JUGEMENTS

La manœuvre a permis de comparer le confort d'utilisation et l'astreinte physiologique induite par les deux **ARI** selon des critères objectifs et subjectifs.

### 7.2.4.1. Critères objectifs

Parmi les critères objectifs, la température centrale était le critère de jugement principal. Les autres critères objectifs étaient la perte hydrique, les pulsations cardiaque thermique.

Les volontaires ont eu pour consignes de ne plus manger, ni boire, ni fumer dans les 15 minutes qui précédaient l'acquisition des paramètres physiologiques « avant épreuve » suivants : température orale, poids corporel, fréquence cardiaque de repos.

#### 7.2.4.1.1. **Température centrale**

Une évaluation précise et fiable de la température centrale ( $T_c$ ) est indispensable pour différencier un coup de chaleur d'exercice, d'un épuisement lié à la chaleur. Les dispositifs externes (sublinguaux, tympaniques, cutanés) ont tendance à sous-estimer la température centrale par rapport au gold-standard qu'est la température rectale (32). Concernant la température orale, la différence avec la température rectale s'accroît à mesure que la température centrale augmente (33).

Dans notre étude, la température orale ( $T_o$ ) a été privilégiée pour des raisons d'accessibilité aux différents dispositifs et d'acceptation parmi les volontaires.

La norme ISO 9886(2004) (34) prévoit que la température orale ne peut être considérée comme une approximation satisfaisante de la température corporelle que si les conditions suivantes sont remplies :

- Température ambiante est supérieure à 18°C ;
- Ne pas boire, ni manger, ni fumer dans les 15 min précédant le placement du capteur ;
- Durée de fermeture de la bouche avant le relevé d'au moins 8 minutes lorsque la température ambiante se situe entre 18 et 30°C

Seule cette dernière condition n'a pas été respectée à l'occasion de nos différents relevés.

La température orale a été mesurée avant et après l'épreuve. L'estimation de la température centrale a été réalisée selon la formule suivante :  $T_c = T_o + 0.4$ . La variation de température centrale a été calculée par la différence de la température avant et après épreuve.

#### 7.2.4.1.2. Perte hydrique

La perte hydrique a été évaluée par la perte de poids corporel. Les volontaires ont été pesés en sous-vêtements, avant et après chaque manœuvre. La perte hydrique en kilogramme correspondait à la différence de poids du sujet entre les deux pesées. Le poids avant l'épreuve a été recueillie après miction. Le poids après épreuve était déterminé après que le volontaire se soit essuyé l'ensemble du corps.

#### 7.2.4.1.3. Pulsations cardiaques thermiques

L'astreinte thermique était aussi évaluée grâce aux pulsations cardiaques thermiques. Rappelons la relation établie par Vogt et Metz (1981) :

$$\text{PCT} = \text{Fcr} - \text{Fc0}$$

**Fcr** est la fréquence cardiaque moyenne de récupération à la 3eme, 4eme et 5eme minutes de repos, assis, en ambiance neutre, à la fin de l'épreuve. Elle a été mesurée dans le gymnase.

**Fc0** est la fréquence cardiaque de repos, c'est-à-dire la fréquence cardiaque moyenne mesurée dans le gymnase, avant l'épreuve, toutes les minutes pendant 5 minutes en position assise.

#### 7.2.4.2. Critères subjectifs

L'évaluation subjective a été réalisée au moyen de l'échelle de Borg (**annexe 5**) et d'un questionnaire (**annexe 6**) permettant, pour le premier d'apprécier l'intensité de l'effort et pour le second d'estimer le confort thermique des sujets et de recueillir leurs auto-évaluations des **EPI** testés.

##### 7.2.4.2.1. **Echelle de Borg**

L'échelle de Borg a été présentée et expliquée aux volontaires avant l'épreuve. Le document (**annexe 5**) était visible par le sujet testé à tout moment de l'épreuve. Le recueil de l'échelle de Borg a été réalisé toutes les dix minutes après le début de l'épreuve. Quatre relevés ont donc été pratiqués sur la totalité de la manœuvre.

##### 7.2.4.2.2. **Questionnaire**

Le questionnaire d'appréciation du confort et des sensations thermiques, conçu selon la norme ISO 10551 (2001) (35) était rempli par le participant à la fin de chacune des deux manœuvres effectuées.

#### 7.2.5. OUTILS DE MESURES

##### 7.2.5.1. Paramètres physiologiques

La température orale a été mesurée avec un thermomètre électronique à affichage digital de la marque WELCH ALLYN ® (modèle SureTemp Plus), avec des embouts protecteurs à usage unique. Cet appareil a une précision d'un dixième de degré Celsius.

Le poids corporel a été mesuré à l'aide d'une balance électronique à affichage digital (TEFAL ® Classic) avec une précision d'un dixième de kilogramme.

La fréquence cardiaque a été mesurée avant, pendant et après l'épreuve par un cardiofréquencemètre (POLAR ® S610i). La surveillance de la fréquence cardiaque pendant toute la durée de l'épreuve permettait de s'assurer que le sujet n'atteigne pas sa **FMT**. Pour des raisons techniques, la variation de la fréquence cardiaque au cours de la manœuvre n'a pas pu être enregistrée ni analysée à posteriori.

#### 7.2.5.2. Paramètres environnementaux

Les paramètres environnementaux au sein du gymnase ont été relevés immédiatement avant chaque épreuve.

La température de l'air a été mesurée au psychromètre (thermomètre sec).

La vitesse de l'air a été déterminé par un anémomètre.

#### 7.2.6. ANALYSE STATISTIQUE

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne, accompagné de leurs écart-type et intervalles de confiance à 95%.

Comparant des variables quantitatives issues de deux groupes appariés, nous avons utilisé un test des rangs signés de Wilcoxon. Le seuil de significativité retenu était  $p < 0.05$ .

### 7.3. RESULTATS

#### 7.3.1. EPREUVES

Au total, 40 manœuvres impliquant 20 sapeurs-pompiers ont été pratiquées. Dix-huit (90 %) manœuvres avec l'**ARICO** ont été menées jusqu'à leur terme. L'interruption de 2 manœuvres (10%) avec **ARICO** était liée à une panne d'air (réserve d'air inférieure à 50 bar) pour l'une et au dépassement de la **FMT** pour l'autre. La panne d'air avec l'**ARICO**, est survenue au cours de la 29<sup>ème</sup> minutes d'exercice. Le taux de réussite avec l'**ARICF** était également de 90% (18 manœuvres). L'arrêt prématuré de deux manœuvres avec **ARICF** était consécutif au dépassement de la **FMT** dans les deux cas. L'un des équipiers a atteint sa **FMT** lors de ses deux manœuvres. Quand le motif d'arrêt prématuré était l'atteinte de la **FMT**, celle-ci était systématiquement survenue au cours de la 39<sup>ème</sup> minutes de la manœuvre.

#### 7.3.2. CARACTERISTIQUES DES SAPEURS-POMPIERS ETUDIES

Les 20 sapeurs-pompiers étudiés étaient tous des hommes. L'étude était ouverte aux femmes mais aucune n'a été d'astreinte lors des sept sessions de manœuvres. Le tableau 4 reprend les caractéristiques des participants aux manœuvres.

Equipier	Age (années)	Poids corporel avant manœuvre (kilogrammes)		Taille (mètres)	IMC (Kg/m <sup>2</sup> )		FMT (bat/min)
		ARICO	ARICF		ARICO	ARICF	
1	44	73.2	72.9	1.78	23.1	23	176
2	43	85.2	85.2	1.72	28.8	28.8	177
3	38	71.6	71.5	1.87	20.5	20.4	182
4	34	76	75.4	1.8	23.5	23.3	186
5	33	59.3	59.3	1.7	20.5	20.5	187
6	46	62.5	62.8	1.71	21.4	21.5	174
7	45	70.1	70.1	1.75	22.9	22.9	175
8	33	91.3	91.6	1.78	28.8	28.9	187
9	32	88	87.9	1.88	24.9	24.9	188
10	39	99.6	99.8	1.82	30.1	30.1	181
11	43	107.2	107.7	1.92	29.1	29.2	177
12	43	89.7	88.9	1.76	29	28.7	177
13	40	73	73.3	1.7	25.3	25.4	180
14	41	88.1	88.3	1.72	29.8	28.8	179
15	52	92.2	92	1.72	31.2	31.1	168
16	37	77.3	77.2	1.84	22.8	22.8	183
17	35	90.6	90.9	1.78	28.6	28.7	185
18	43	95	95.3	1.8	29.3	29.4	177
19	45	93.4	93.4	1.86	26.9	27	175
20	35	89.5	89.7	1.81	27.3	27.4	185
<b>Moyenne</b>	<b>40±5.3</b>	<b>83.6±12.6</b>	<b>83.7±12.7</b>	<b>1.79±0.1</b>	<b>26.2±3.5</b>	<b>26.2±3.5</b>	<b>180</b>
<b>IC 95%</b>	<b>[37.5- 42.5]</b>	<b>[77.7- 89.5]</b>	<b>[77.8- 89.6]</b>	<b>[1.74-1.84]</b>	<b>[24.6-27.8]</b>	<b>[24.5- 27.7]</b>	

*Tableau 4 : Caractéristiques des sapeurs-pompiers (âge, poids, taille, indice de masse corporelle (IMC en kilogramme par mètre au carré), fréquence cardiaque maximale théorique (FMT en battements par minute))*

### 7.3.3. PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX

Les manœuvres ont été réalisées dans le gymnase du **CIS** de Bruges. La température ambiante mesurée dans ce dernier était donc susceptible de varier d'un jour à l'autre et au cours de la journée. Dix manœuvres avec **ARICO** et dix manœuvres avec **ARICF** ont été réalisées le matin. Autant de manœuvres avec **ARICO** et **ARICF** ont été pratiquées l'après-midi. La température ambiante moyenne relevée lors des manœuvres avec **ARICO** était de  $26.9^{\circ}\text{C} \pm 1.8$  [26.1 - 27.8]. Lors des manœuvres avec l'**ARICF**, la température ambiante moyenne était de  $26.9^{\circ}\text{C} \pm 1.7$  [26.1 - 27.7]. Il n'existait pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de température ambiante ( $p=0.75$ ).

La vitesse de l'air lors des 40 manœuvres a toujours été de 0 mètre par seconde.

### 7.3.4. TEMPERATURE CENTRALE ET SA VARIATION

Il n'existait pas différence statistiquement significative ( $p = 0.56$ ) entre la température centrale moyenne avant les manœuvres réalisées avec l'**ARICO** ( $37.2^{\circ}\text{C} \pm 0.2$  [37.1 - 37.3]) et celles réalisées avec l'**ARICF** ( $37.2^{\circ}\text{C} \pm 0.2$  [37.1 - 37.3]).

La température centrale ( $T_c$ ) moyenne était de  $37.8^{\circ}\text{C} \pm 0.5$  [37.6 - 38] après réalisation de la manœuvre avec l'**ARICO** contre  $39^{\circ}\text{C} \pm 0.6$  [38.7 - 39.3] dans le groupe **ARICF** ( $p < 10^{-4}$ ). La température centrale lors de l'utilisation de l'**ARICO** n'a jamais atteint les  $39^{\circ}\text{C}$ , température à partir de laquelle les premiers symptômes liés à la chaleur apparaissent. Au contraire, cette valeur ( $39^{\circ}\text{C}$ ) a été atteinte chez 55% des sapeurs-pompiers après le port de l'**ARICF**.

L'augmentation moyenne de la température centrale liée à l'utilisation de l'**ARICF** ( $+1.8 \pm 0.5$  [1.6 - 2]) était 3 fois plus élevée que celle obtenue avec l'**ARICO** ( $+0.6 \pm 0.5$  [0.4 - 0.8]). La différence calculée était statistiquement significative ( $p < 10^{-4}$ ). Une augmentation de plus d'un degré de la température centrale a été observé dans 85% des manœuvres avec l'**ARICF** contre 25 % des manœuvres avec l'**ARICO**.

Le tableau 5 présente les températures centrales et leurs variations lors des 40 manœuvres réalisées.

Equipier	Tc après la manœuvre		Variation de la Tc	
	ARICO	ARICF	ARICO	ARICF
1	37.2*	39.7†	-0.1*	2.4
2	38.7*†	39.3*	1.5*‡	1.9*
3	37.7	39	0.7	1.7
4	37.9	38.3	0.8	1.1
5	38	38.6	0.7	1.9
6	37.6	38.6	0.6	1.6
7	37.2	37.9	0.2	0.9
8	37.6	38.6	0.1	1.5
9	38.1	39.4	0.5	1.9
10	37	38.2	-0.1	1
11	37.4	38.3	0.2	1.2
12	38.3	38.6	1.3	1.5
13	37.3	39.5	0.3	2.3
14	37.5	39.4*	0.2	1.8*
15	38.5	38.7	1.4	1.7
16	38.5	39.7†	1.1	2.4
17	37.5	39.6	0.3	2.2
18	37.8	39.7†	0.8	2.7‡
19	37.7	39.7†	0.6	2.4
20	38.5	39.7†	1.2	2.6
<b>Moyenne</b>	<b>37.8 ± 0.5</b>	<b>39 ± 0.6</b>	<b>0.6 ± 0.5</b>	<b>1.8 ± 0.5</b>
<b>IC 95%</b>	<b>[37.6 - 38]</b>	<b>[38.7 - 39.3]</b>	<b>[0.4 - 0.8]</b>	<b>[1.6 - 2]</b>

*Tableau 5 : Température centrale et sa variation lors des manœuvres avec ARICO et ARICF*

\* Manœuvre interrompue avant son terme ; † Température centrale maximale mesurée après manœuvre ; ‡ Variation maximale de la température centrale entre le début et la fin de la manœuvre

Ces résultats ont été obtenus à partir des 40 manœuvres réalisées. Une des manœuvres effectuées avec l'**ARICO** a été interrompue à 29 minutes en raison d'une panne d'air provoquée par un mauvais ajustement de la pièce faciale. Les résultats de cette manœuvre étaient susceptibles de minimiser l'impact thermique de l'**ARICO** au détriment de l'**ARICF**.

Les paramètres précédents ont également été comparés sans tenir compte des résultats issus des deux manœuvres effectuées par le sapeur-pompier qui a interrompu l'une d'elle à 29 minutes.

La température centrale moyenne après manœuvre restait significativement ( $p=10^{-4}$ ) plus élevée avec l'**ARICF** ( $39^{\circ}\text{C} \pm 0.6$  [38.7 – 39.3]) qu'avec l'**ARICO** ( $37.8^{\circ}\text{C} \pm 0.5$  [37.6 - 38]). De même, l'élévation de la température centrale était significativement ( $p=10^{-4}$ ) plus élevée avec l'**ARICF** ( $+1.8^{\circ}\text{C} \pm 0.5$  [1.6 – 1.2]) qu'avec l'**ARICO** ( $+0.7^{\circ}\text{C} \pm 0.5$  [0.5 – 0.9]).

### 7.3.5. PERTE HYDRIQUE

La perte hydrique moyenne liée à l'utilisation de l'**ARICF** ( $0.86 \text{ Kg} \pm 0.3 [0.72 - 1]$ ) était supérieure à celle engendrée par l'utilisation de l'**ARICO** ( $0.77 \text{ Kg} \pm 0.2 [0.68 - 0.86]$ ) mais cette différence n'était pas statistiquement significative ( $p > 0.05$ ). Cette perte hydrique correspondait en moyenne à  $0.9 \%$  [ $0.8 - 1.1$ ] de la masse corporelle avec l'**ARICO** contre  $1\%$  [ $0.9 - 1.1$ ] avec l'**ARICF** ( $p = 0.0494$ ).

### 7.3.6. PULSATIONS CARDIAQUES THERMIQUES (PCT) ET FREQUENCES CARDIAQUES LIMITES

Les **PCT** moyennes étaient significativement ( $p = 2.10^{-5}$ ) plus élevées avec l'**ARICF** ( $43 \text{ PCT} \pm 13 [37 - 49]$ ) que pour l'**ARICO** ( $31 \text{ PCT} \pm 11 [26 - 36]$ ).

Selon la norme ISO 9886 (2004) (34), la fréquence cardiaque en situation de travail ne doit pas dépasser la valeur limite de la personne réduite d'environ 20 battements par minute. Cette valeur limite peut être prédite par l'expression suivante :

$$\text{HRLim} = 185 - (0.65 * \text{âge})$$

Cette fréquence cardiaque limite en situation de travail a été dépassée dans 42% des manœuvres avec **ARICO** (5 épreuves sur 12) contre 67% des manœuvres avec **ARICF** (10 épreuves sur 15). Des données manquantes ont empêché d'obtenir ces pourcentages sur l'ensemble des manœuvres réalisées.

Deux (10%) sapeurs-pompiers ont atteint leur **FMT**. L'un d'eux l'a atteint pour chacune de ses manœuvres (**ARICO** et **ARICF**). L'autre équipier a atteint sa **FMT** uniquement lors de l'utilisation de l'**ARICF**.

### 7.3.7. ECHELLE DE BORG

Les résultats concernant l'échelle de Borg ont été obtenus à partir de 38 manœuvres (95%) puisque l'une des épreuves a été interrompue à 29 minutes. Les valeurs à 30 et 40 minutes n'ont donc pas pu être recueillies pour cette épreuve.

Le Borg final (40 minutes) était statistiquement plus élevé que le Borg initial (10 minutes) que ce soit avec l'**ARICO** et l'**ARICF** ( $p = 2.10^{-4}$  dans les 2 groupes). Le Borg relevé après 10, 20, 30 et 40 minutes d'utilisation de l'**ARICF** était systématiquement et statistiquement plus élevé qu'avec l'**ARICO** ( $p < 0.05$ ).

Le Borg moyen était significativement plus élevé lorsque la manœuvre était réalisée avec l'**ARICF** (12.8) plutôt que l'**ARICO** (11.7) ( $p = 7.10^{-3}$ ).

La figure 17 montre l'évolution quasiment linéaire de l'intensité de l'effort en fonction du temps pour les deux types d'ARI.

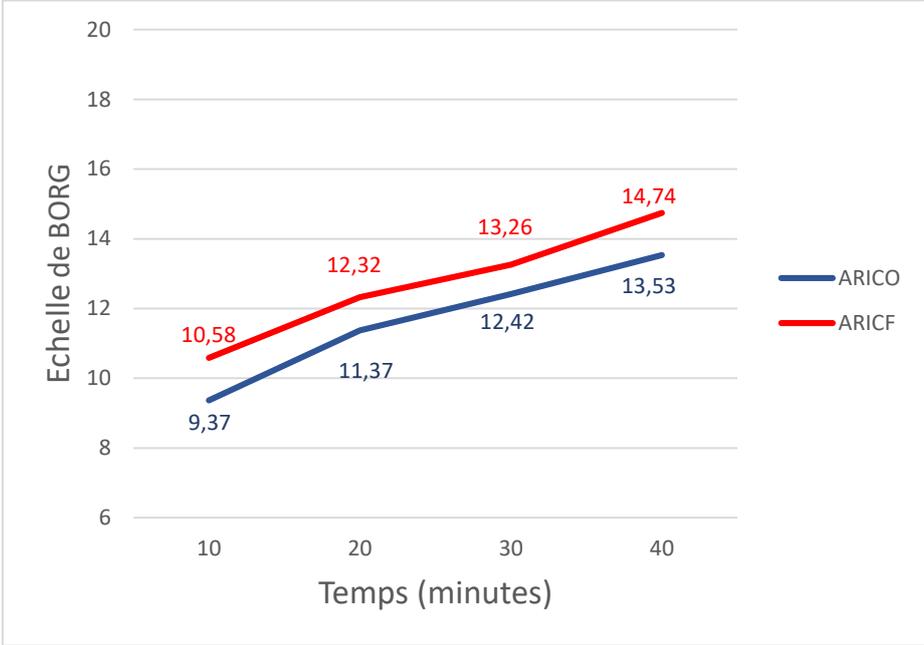
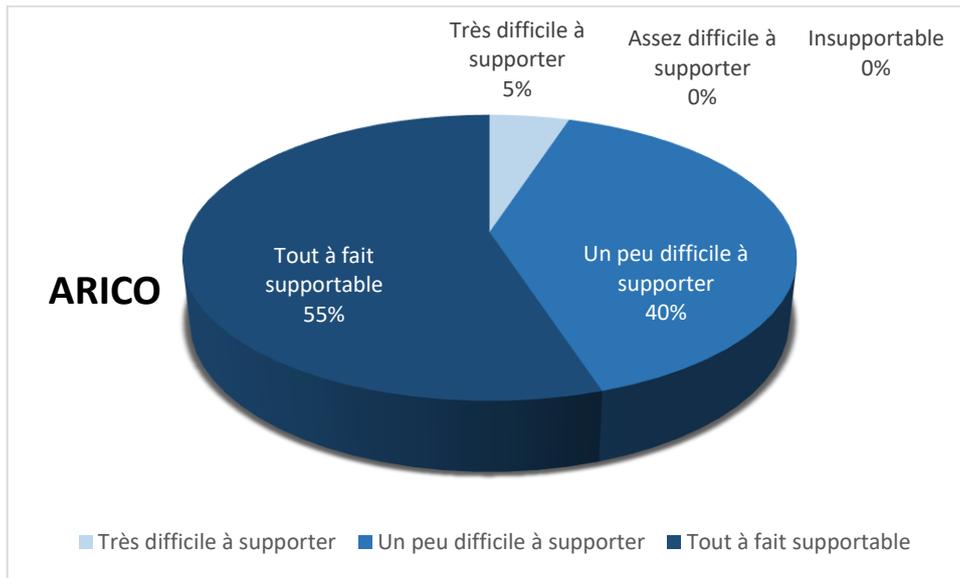


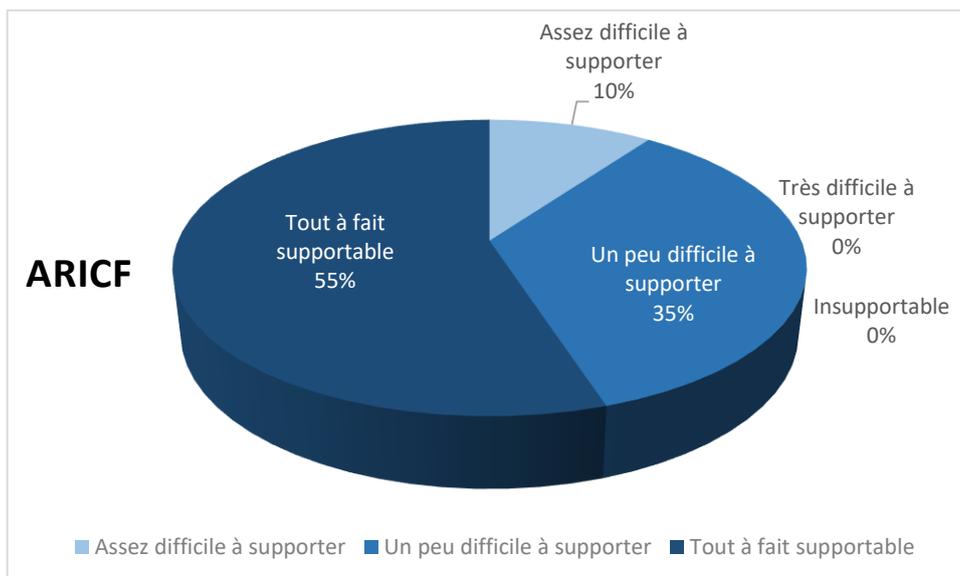
Figure 17 : Evolution de l'échelle de Borg au cours de la manœuvre

### 7.3.8. QUESTIONNAIRES

Les résultats précédents ont été obtenus dans des conditions de température ambiante jugées « Tout à fait supportable » ou « Un peu difficile à supporter » par respectivement 95% (**ARICO**) et 90% (**ARICF**) des sapeurs-pompiers. Les figures 18 et 19 montrent le ressenti des équipiers par rapport à l'ambiance thermique avant le début de la manœuvre.



*Figure 18 : Appréciation de l'ambiance thermique avant les manœuvres avec l'ARICO*



*Figure 19 : Appréciation de l'ambiance thermique avant les manœuvres avec l'ARICF*

Avant la manœuvre avec l'ARICO, 15% (3) des sapeurs-pompiers n'avaient ni chaud ni froid, 35% (7) avaient légèrement chaud et 50% (10) avaient chaud. Avant la manœuvre avec **ARICF**, 30% (6) sapeurs-pompiers n'avaient ni chaud ni froid, 35% (7) avaient légèrement chaud, 30% (6) avaient chaud et 5% (1) avaient très chaud.

Les figures 20 et 21 présentent la sensation thermique exprimée par les équipiers respectivement après les manœuvres avec l'**ARICO** et l'**ARICF**.

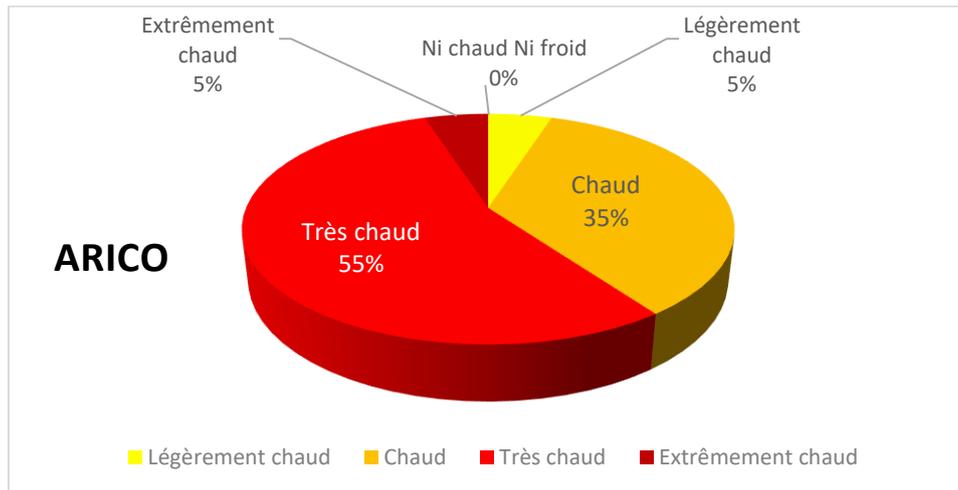


Figure 20 : sensation thermique après manœuvre avec l'ARICO

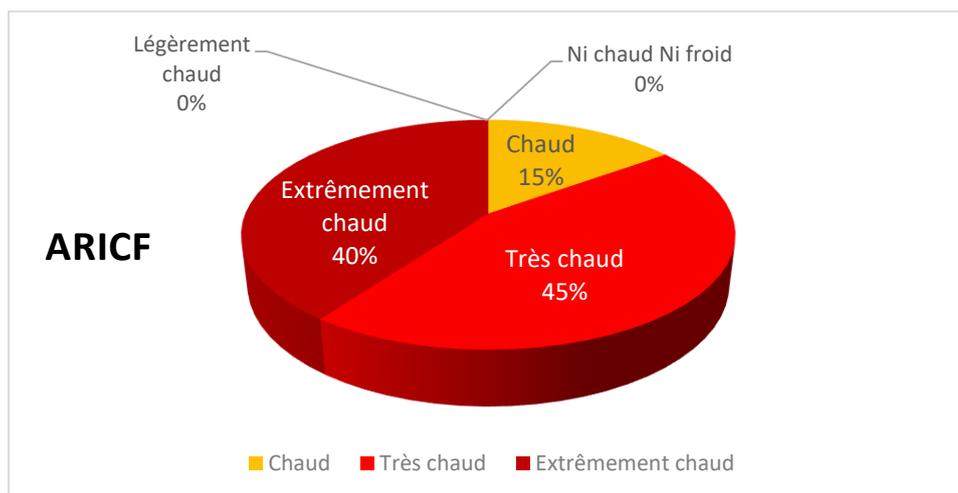


Figure 21 : sensation thermique après manœuvre avec l'ARICF

Les sapeurs-pompiers ont évalué le confort de l'association **EPI** de type 1A –**ARI** (**ARICO** ou **ARICF**) selon les critères suivants : confort thermique, transpiration, poids, aisance dans les mouvements et visibilité. L'échelle va de 1 à 5, du moins satisfaisant au plus satisfaisant.

La figure 22 montre le ressenti moyen des volontaires concernant l'équipement :

**ARICO** – **EPI** de type 1A ou **ARICF** – **EPI** de type 1A.

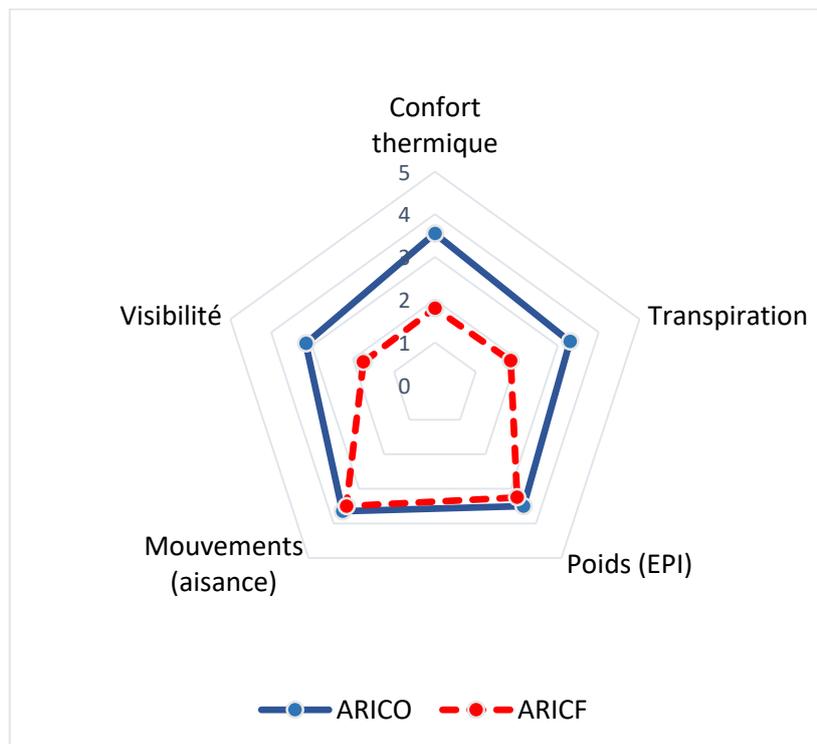


Figure 22 : Ressenti moyen concernant le confort des deux associations d'EPI :

ARICO – EPI de type 1a et ARICF – EPI de type 1A

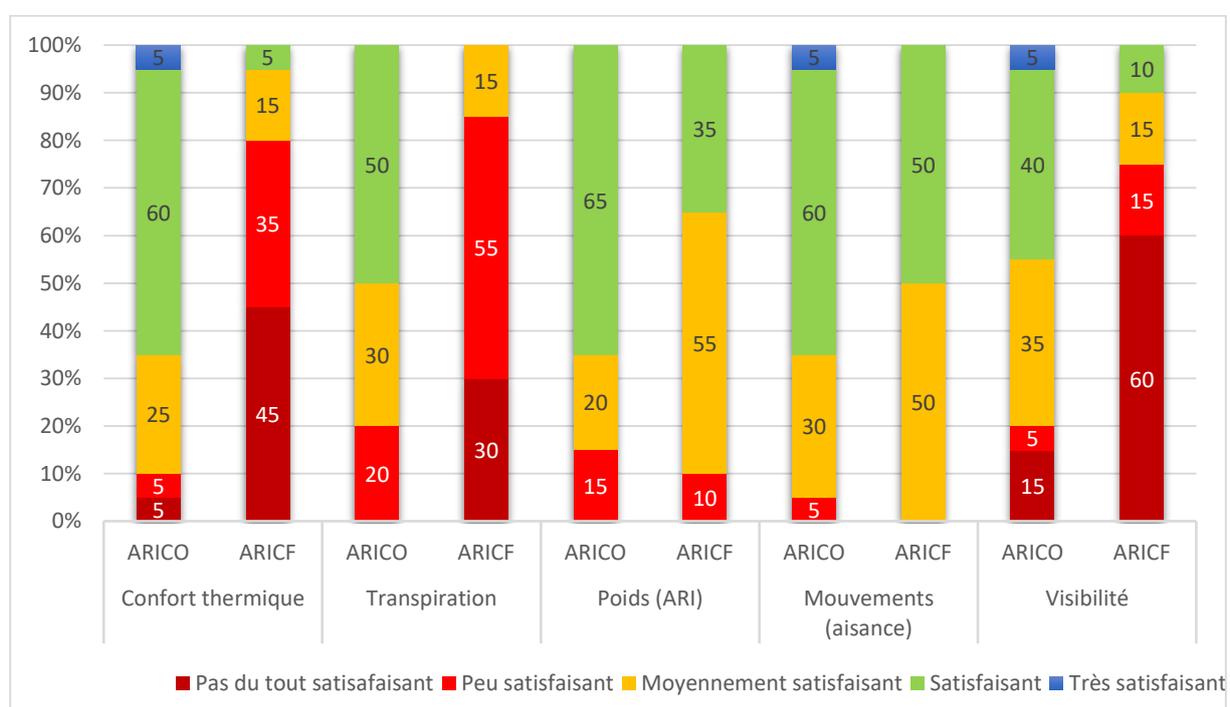
Concernant l'**ARICF**, trois critères semblent impacter son confort d'utilisation : le confort thermique, la transpiration produite au sein de la tenue de protection chimique et la réduction de la visibilité.

Du point de vue du confort thermique, 80% (16) des équipiers estimaient que la tenue avec l'**ARICF** n'était « pas du tout » ou « peu » satisfaisante. Ils étaient seulement 10 % (2) à avoir le même jugement avec l'**ARICO**. 60% (12) des volontaires considéraient l'ensemble **ARICO** – **EPI** « satisfaisant » par rapport au confort thermique.

A propos de la mouillure cutanée et de l'inconfort qu'elle engendre, 50% (10) des volontaires estimaient qu'elle était satisfaisante après l'utilisation de l'ARICO. Aucun n'avait ce même jugement après le passage avec l'ARICF. Avec ce dernier, 85% (17) des équipiers évaluaient la quantité de sueur produite comme « Pas du tout satisfaisante » (30%) ou « Peu satisfaisante » (55%) contre 20% (4) avec l'ARICO (0% « Pas du tout satisfaisante » ; 20% « Peu satisfaisante »).

Concernant la visibilité, 60% (12) des sapeurs-pompiers la considéraient comme « pas du tout satisfaisante » lors de l'utilisation de l'ARICF, contre 15% (3) avec l'ARICO.

La figure 23 récapitule l'ensemble des réponses quant à la satisfaction des volontaires concernant l'association d'EPI testée et selon les critères précédemment cités.



**Figure 23 : Satisfaction des volontaires concernant l'ARI testé (ARICO, ARICF) selon plusieurs critères (confort thermique, quantité de transpiration, poids de l'ARI, aisance des mouvements, visibilité)**

## **7.4. DISCUSSION**

Cette étude prospective, comparative, unicentrique s'avérait être une étude originale. De nombreuses études ont évalué l'impact cardio-respiratoire et thermique du port de l'**ARI** et/ou d'une **TPC**. Mais, à notre connaissance, la littérature scientifique restait jusqu'à ce jour vierge d'étude comparant l'astreinte thermique de deux **ARI** de grande capacité, aux fonctionnements différents (circuit-ouvert versus circuit-fermé).

### **7.4.1. JUSTIFICATION DES CRITERES DE JUGEMENTS**

La détermination de l'astreinte thermique par l'indice d'astreinte thermique prévisible (**PHS** : Predictive Heat Stress), selon la Norme ISO 7933 (2004) (36), n'a pas été utilisé car il n'est pas applicable aux situations de travail en combinaison étanche (37) (38).

Nous avons opté pour des critères objectifs, non invasifs, d'acquisition simple, afin d'une part, favoriser l'acceptabilité parmi les sapeurs-pompiers et d'autre part réitérer facilement ces mesures dans le cadre du soutien sanitaire opérationnel. Aussi, nous espérions valider les mesures objectives par des critères subjectifs permettant une expression quantifiée de l'avis des sapeurs-pompiers sur la contrainte.

Les critères objectifs (température corporelle et sa variation, perte hydrique, fréquence cardiaque) et subjectifs (sensation et confort thermique) choisis, étaient communément utilisés dans les autres études évaluant l'astreinte thermique qu'elle soit engendrée ou non par un équipement de protection.

Contrairement à la nôtre, la grande majorité des études optaient pour un monitoring continu des paramètres physiologiques. Nous ne disposions pas du matériel adéquat pour enregistrer les paramètres physiologiques en continu.

Concernant la détermination de la température corporelle, l'immense majorité des études utilisent la température rectale. Ce site de mesure est celui recommandé pour une détermination précise de la température corporelle afin d'éviter les erreurs diagnostiques et thérapeutiques dans le cadre des pathologies liées à la chaleur. Nous n'avons pas opté pour ce site de mesure difficilement acceptable dans la population étudiée et de recueil impossible en situation de travail (manœuvre, soutien sanitaire opérationnel).

Nous avons utilisé la température orale, bien qu'elle ne soit pas le meilleur moyen d'estimer la température centrale (39). Elle aurait tendance à sous-estimer la température interne de l'ordre de 0.6°Celsius (33). Cependant Mairiaux, la considère comme un indicateur fidèle et reproductible de la température centrale lorsque les conditions de mesures sont respectées (40). Dans notre étude, seule la durée de fermeture de la bouche avant mesure n'a pas pu être respectée. De plus, Beard et al, recommandaient de ne pas l'utiliser dans l'évaluation de l'astreinte thermique provoquée par une tenue de protection chimique (41).

Bien conscient de ces limites, nous avons choisi la température orale car nous disposons déjà des thermomètres sublinguaux utilisés au cours du soutien sanitaire opérationnel.

Rarement utilisées dans les autres études, les Pulsations Cardiaques Thermiques (PCT) sont, selon Meyer (14), un bon indicateur de l'astreinte thermique lors d'expositions à des contraintes thermiques élevées ou brèves ou réalisées en combinaison de protection étanche.

L'évaluation subjective de l'effort fourni durant la manœuvre a reposé sur l'échelle de Borg. Il s'agit d'une échelle validée chez de nombreux sportifs et pour différentes activités (vélo et course à pied en particulier) et pour certaines catégories professionnelles où une bonne condition physique est requise (forestiers, charpentiers, menuisiers, policiers et pompiers notamment) (42). L'échelle de Borg, a été utilisée seule ou dans le cadre de « l'indice de stress perçu » (**PeSI** : Perceptual Strain Index), dans plusieurs études évaluant une astreinte thermique (43) (44).

#### **7.4.2. PRINCIPAUX RESULTATS**

Dans les conditions de notre étude, l'**ARICF** génère une astreinte thermique supérieure à celle induite par l'**ARICO**. Nos résultats corroborent donc notre hypothèse initiale. Cela s'explique selon nous, par le mode de fonctionnement en circuit fermé. Il empêche une dissipation de chaleur par évaporation pulmonaire alors que l'évaporation cutanée est déjà perturbée par la tenue de protection chimique.

Ne disposant pas d'autre étude évaluant l'astreinte thermique produite par un **ARI** à circuit-fermé, nous étions incapables de prédire la variation de température centrale ainsi que son écart par rapport à celle engendrée par l'**ARICO**. Nous avons été surpris de constater que la variation de température était presque trois fois plus élevée avec l'**ARICF** qu'avec l'**ARICO**.

Dans l'étude d'Ilmarinen (43), les pompiers équipés d'un **ARICO** et d'un **EPI** de type 1A ou 1B, effectuaient différentes tâches (marche à 5 km/h, port de charge, montée/descente d'escaliers) pendant quatorze minutes et demi, dans une chambre climatique au sein de laquelle la température s'élevait à 40 °C. Il constatait une augmentation moyenne de la température rectale de 2°C. Nos épreuves réalisées dans des conditions de températures ambiantes plus favorables, ne comportaient pas de tâches aussi coûteuses sur le plan énergétique. Pourtant, l'augmentation moyenne de température constatée avec l'**ARICF** (+1.8°C), lors d'épreuves certes plus longues, est proche de celle retrouvée par Ilmarinen.

L'étude de Smolander et al (22), plus semblable à la nôtre en ce qui concerne la durée (23 à 30 minutes) et la température ambiante moyenne (24.3°C) ne comportait pas d'autre tâche que la marche sur tapis de course à deux niveaux d'intensité (21% et 41% de la **VO2** max des sujets étudiés).

Au niveau d'intensité le plus faible, l'épreuve réalisée avec une tenue de protection chimique et un **ARICO**, entraînait une augmentation moyenne de température centrale de +0.3°C. Cette élévation était donc inférieure à celle retrouvée dans notre étude (+0.6°C avec l'**ARICO**). Au contraire, lorsque l'épreuve était effectuée à 41% de la **VO2max**, l'élévation moyenne de la température centrale (+1°C) s'avérait supérieure à celle mise en évidence dans notre étude.

A propos des PCT, la relation de Vogt prévoit que l'élévation d'un degré de la température centrale correspond à 33 pulsations cardiaques supplémentaires. Dans notre étude, cette relation ne semble pas vérifiée. Nous supposons que cela est dû aux conditions de recueil des pulsations cardiaques au décours de l'épreuve. En effet, nous n'avons enregistré la fréquence cardiaque qu'après le retrait de la tenue de protection et l'ARI par le sapeur-pompier. Selon Meyer (45), il aurait été préférable d'effectuer les mesures de récupération en tenue étanche. Le déshabillage rapide induirait, selon lui, un effort physique et une évaporation brutale et importante qui, l'un comme l'autre, retarderaient la stabilisation physiologique nécessaire à une bonne récupération et un bon comptage des PCT.

#### 7.4.3. LIMITES, BIAIS DE L'ETUDE ET LEURS CONSEQUENCES

Le nombre restreint de sapeurs-pompiers inclus, affecte la puissance de cette étude.

L'étude n'a pas été menée en aveugle puisque les sapeurs-pompiers connaissaient le type d'**ARI** qu'ils portaient lors de leurs deux manœuvres. Leurs aprioris ont pu modifier leur objectivité quant à l'appréciation du confort et de la sensation thermique.

Il existait un biais de sélection puisque qu'aucune randomisation n'a été effectuée. De même, certains sapeurs-pompiers se sont proposés pour participer aux manœuvres.

Trois sapeurs-pompiers ont complété le questionnaire d'appréciation du confort et des sensations thermiques, 14 jours après la réalisation de leurs deux manœuvres. Cela constituait donc un biais de mémorisation.

Cette étude souffrait également d'un biais d'analyse puisque les résultats n'ont pas été validés par un statisticien.

Aucune femme n'a participé à notre étude. Quelques femmes sont pourtant spécialisées en risque chimique au sein du **SDIS 33**. Leur participation aurait été intéressante car les femmes seraient presque 4 fois plus susceptibles que les hommes d'être intolérantes à la chaleur, comme défini par le test de tolérance à la chaleur (**HTT** : Heat Tolerance Test) développé par l'armée Israélienne (46). Cette différence serait plutôt liée à des paramètres physiques tels que le pourcentage de masse grasseuse, plus élevé chez la femme, mais surtout de plus faibles capacités cardio-respiratoire (47).

Même s'il n'existait pas de différence statistiquement significative entre les températures ambiantes mesurées lors des épreuves avec **ARICO** et **ARICF**, il aurait été préférable de mener les manœuvres en chambre thermique.

Cela aurait permis de comparer les paramètres physiologiques dans différentes conditions environnementales (température, humidité de l'air, etc ...).

Très peu d'études ont évalué l'astreinte thermique induite par l'association d'une tenue de protection chimique et d'un ARI, en condition de basse température. Smolander et al (48) ont retrouvé une élévation moyenne de la température rectale de 0.8°C chez des sapeurs-pompiers réalisant des tâches classiques de secours, avec une tenue imperméable au gaz et un **ARICO**, alors que la température extérieure était de 2°C.

En raison de ces limites et biais, nos résultats, en valeur absolue, ne sont pas transposables à la grande diversité de conditions réelles d'utilisation de l'ensemble **EPI** de type 1A – **ARICO/ARICF** : intervention en extérieur / intérieur, froid / chaud extrême, stress d'une véritable intervention, etc...

Cependant, nous supposons que l'astreinte thermique induite par l'**ARICF** serait supérieure à celle provoquée par l'**ARICO**, que les températures ambiantes soient inférieures ou supérieures à celles mesurées pendant nos manœuvres.

Cette supposition doit être confirmée afin de pouvoir étendre nos résultats à un plus large panel de situations opérationnelles. Cela impliquerait de renouveler ce type de manœuvre, avec monitoring de paramètres physiologiques, en chambre thermique et/ou sur terrain d'intervention.

#### **7.4.4. IMPLICATIONS DES PRINCIPAUX RESULTATS**

Cette étude confirme que l'utilisation de l'**ARI**, indépendamment de son type (**ARICO** ou **ARICF**), avec une tenue de protection chimique génère une astreinte thermique non négligeable. Il est nécessaire d'en tenir compte au moment de l'évaluation de l'aptitude à la spécialité RCH.

##### **7.4.4.1. Aptitude à la spécialité RCH**

Cette évaluation doit rechercher des facteurs intrinsèques favorisant les pathologies liées à la chaleur et notamment le coup de chaleur. Parmi eux, il y a les rares pathologies primitives de la thermorégulation, les insuffisances de thermolyse par pathologie de la glande sudoripare (agénésie, etc...), ou plus fréquemment par pathologie cutanée étendue (eczéma, psoriasis). Il faut aussi rechercher des antécédents de pathologies liées à la chaleur et déterminer leurs contextes de survenue. L'interrogatoire doit rechercher une prise de médicaments ou de drogues susceptibles de perturber la thermorégulation (diurétiques, anti-inflammatoire non stéroïdien, neuroleptiques, hormones thyroïdiennes, amphétamine, cocaïne, etc...).

Notre étude a confirmé que l'utilisation d'une **TPC** et d'un **ARI** génère une contrainte chronotrope importante (77% et 83% de la Fréquence Maximale Théorique avec l'**ARICO** et l'**ARICF** respectivement).

Pour cette raison, il est pertinent d'évaluer le risque cardiovasculaire des sapeurs-pompiers spécialisés ou souhaitant se spécialiser en risque chimique. Plusieurs sociétés savantes recommandent de réaliser une épreuve d'effort chez les sujets masculins asymptomatiques de plus de 40 ans présentant un ou plusieurs facteurs de risque cardiovasculaire et souhaitant reprendre ou poursuivre une activité physique ou sportive. Au regard de l'astreinte cardiovasculaire induite par le travail en ambiance chaude avec un **EPI** de type 1A et un **ARI**, la réalisation d'une épreuve d'effort orientée par les données de l'interrogatoire (âge, signes fonctionnels, antécédents, facteurs de risques) nous semble être un élément important pour la détermination de l'aptitude à la spécialité risque chimique.

#### 7.4.4.2. Prévention primaire

##### 7.4.4.2.1. Information du sapeur-pompier

La visite d'aptitude à la spécialité risque chimique doit comporter un temps d'information du sapeur-pompier à propos des contraintes des EPI, de leurs conséquences sur la santé (pathologies liées à la chaleur), les mesures préventives avec notamment les règles hygiéno-diététiques.

De faible capacité aérobie, le surpoids, l'intolérance à la chaleur seraient directement liés au risque de survenue de pathologies liées à la chaleur (49) (50). De plus, la **VO2** max serait la principale caractéristique influençant la tolérance à la chaleur (47). Il faut donc encourager tout sapeur-pompier et notamment ceux spécialisés en risque chimique à maintenir ou retrouver une bonne forme physique par la pratique d'activité d'endurance.

Il faut sensibiliser le sapeur-pompier quant au maintien d'un bon niveau d'hydratation. Pour cela, on lui recommande de boire régulièrement de petites quantités d'eau, avant que la soif ne survienne.

Il faut également éviter une dette de sommeil qui augmenterait l'astreinte physiologique et psychologique et diminuerait la vigilance lors d'exposition à la chaleur (51). Une sieste quotidienne de 30 minutes peut être préconisée pour augmenter la vigilance dans ce contexte d'exposition à la chaleur (51).

De plus, l'ingestion de nicotine, par patch nicotinique ou en fumant, augmenterait l'astreinte thermique lors d'une exposition à la chaleur, au cours du test de tolérance à la chaleur israélien (52). Il faut donc encourager le sevrage tabagique.

La consommation de caféine augmenterait la fréquence cardiaque, par contre, selon plusieurs études (53) (54), elle n'aurait pas d'impact sur la thermorégulation lors d'exercice en ambiance thermique neutre ou chaude.

#### 7.4.4.2.2. Acclimatation à la chaleur

L'acclimatation à la chaleur consiste en des expositions répétées à la chaleur. On distingue l'acclimatation artificielle en laboratoire et l'acclimatation par exposition naturelle à un environnement chaud.

L'acclimatation à la chaleur entraîne plusieurs adaptations physiologiques : expansion du volume plasmatique, diminution de la fréquence cardiaque et des températures centrales et cutanées, meilleures adaptations de la production de sueur et du débit sanguin cutané (55). Grâce à ces adaptations physiologiques, la tolérance à la chaleur est améliorée.

75 à 80% de ces processus d'acclimatation surviennent dès 4 à 7 jours d'exposition répétée à la chaleur (56). Des protocoles courts d'acclimatation à la chaleur offrent donc une adaptation à la chaleur satisfaisante. Les protocoles plus longs (14 jours) optimisent cette adaptation (57).

Cependant, l'augmentation de la production de sueur induite par l'acclimatation, ne serait pas nécessairement bénéfique lors de l'utilisation d'une tenue de protection chimique. En effet, dans ces conditions, l'évaporation requise pourrait être supérieure à l'évaporation maximale permise par les caractéristiques de la tenue (isolement thermique, perméabilité à la vapeur d'eau, potentiel évaporatoire). Le surplus de sueur obtenue grâce à l'acclimatation, s'il n'était pas évaporé, ne permettrait pas de dissipation de chaleur mais exposerait le sujet à la déshydratation (58). Le bénéfice ou non de l'acclimatation à la chaleur, selon les caractéristiques du vêtement de protection chimique utilisé, pourrait être prédit par le graphique « d'évaporation potentielle » élaboré par Chang et al (59).

#### 7.4.4.2.3. Choix et évolution du matériel

L'ensemble **ARI – EPI** de type 1A représente un fardeau physiologique en raison de l'astreinte thermique et cardio-respiratoire qu'il génère.

Afin de réduire ce fardeau et au regard de nos résultats, il nous semble légitime de préconiser l'utilisation de l'**ARICO** plutôt que l'**ARICF** si, lors d'une intervention risque chimique, le temps d'engagement devait dépasser l'autonomie de 30 minutes conférée par l'**ARI** standard.

La réduction de l'astreinte thermique de cette association d'EPI, passe également par la recherche du meilleur compromis entre protection chimique conférée par la tenue de protection et son potentiel évaporatoire. Ce dernier correspond au rapport de l'indice de perméabilité ( $I_m$ ) sur l'isolation thermique ( $Clo$ ). La perméabilité à l'air serait la principale caractéristique du vêtement de protection influençant l'évaporation de sueur et donc la dissipation de chaleur (60) (61). L'augmentation de la perméabilité du vêtement de protection réduirait l'astreinte thermique au détriment toutefois de la protection chimique (62).

En dehors d'une exposition à la chaleur ou d'un stress thermique non compensable (port de combinaison étanche) l'astreinte cardio-respiratoire induite par l'ARI est essentiellement liée à son poids. Notre étude montre que l'adaptation cardiaque liée au challenge thermique de l'association d'EPI est conséquente. Une réduction du poids de l'ensemble d'EPI (ARI et tenue de protection chimique) participerait à la réduction de l'astreinte cardiaque.

#### 7.4.4.3. Prévention secondaire

C'est au travers du Soutien Sanitaire Opérationnel que s'effectue la prévention secondaire des pathologies liées à la chaleur.

Le personnel impliqué dans le soutien sanitaire doit donc être formé à la prévention, à la reconnaissance et au traitement des pathologies liées à la chaleur.

Le dépistage de ces pathologies implique la recherche de symptômes évocateurs, tels que : crampes, nausée, vomissement, céphalée, vertige, confusion, altération de la conscience.

Une technique de mesure fiable de la température centrale est primordiale pour ne pas méconnaître un coup de chaleur d'exercice. La prise de température rectale n'est pas possible en dépistage lors d'une intervention. La température tympanique serait plus fiable que la température orale lors du port d'une tenue de protection chimique (41) (63). Le remplacement des thermomètres sublinguaux actuellement utilisés par des thermomètres tympaniques infrarouge nous semble donc justifié.

Afin de garantir la sécurité du sapeur-pompier, les stigmates du stress thermique non compensable (hyperthermie, hypohydratation, tachycardie) doivent être corrigés en zone de soutien.

Un refroidissement passif optimal requiert le repos dans une atmosphère dont la température est inférieure à 24°C, après avoir retiré les équipements de protection et découvert les avant-bras. Lorsque le repos ne peut avoir lieu qu'en condition chaude et humide, le refroidissement actif devient nécessaire. Nous proposons ce dernier, dès lors que l'Humidex est supérieure ou égale à 40. L'efficacité de nombreuses techniques actives a été étudiée. L'immersion des mains et avant-bras serait la technique la plus efficace (64). Concernant l'efficacité des vestes réfrigérantes, les résultats seraient contradictoires. Des études supplémentaires semblent nécessaires avant de considérer ces vestes comme une mesure préventive efficace du stress thermique (65).

Une fois l'ARI enclenché et la tenue de protection fermée, l'hydratation n'est plus possible. L'évaluation de l'état d'hydratation lors du retour en zone de soutien est donc cruciale. Elle passe par l'examen physique : aspect de la peau (moite, sèche), température cutanée, recherche d'un pli cutané, couleur des urines, recherche d'une tachycardie et hypotension artérielle.

L'évaluation de la perte sudorale, par la variation de poids corporel n'est pas envisageable car la mesure initiale du poids retarderait l'engagement du sapeur-pompier. La perte de poids constatée dans notre étude, nous donne des indications quant à la re-hydratation adaptée qui serait d'un litre.

Il n'existe pas de consensus concernant le temps de repos nécessaire avant de subir une nouvelle situation de stress thermique non compensable. Dans l'étude d'Ilmarinen, 20 minutes de repos en ambiance neutre n'avait pas permis un refroidissement suffisant avant une deuxième exposition à la chaleur avec une tenue de protection chimique (43).

Au regard de nos résultats et de la bibliographie, nous avons établi un algorithme décisionnel quant au réengagement lors d'une intervention risque chimique avec utilisation d'un ARICO de grande capacité (**annexe 7**).

#### 7.4.4.4. Prévention tertiaire

La prévention tertiaire repose d'abord sur le traitement des pathologies liées à la chaleur.

Cela suppose que l'ensemble du matériel médical (thermomètre rectal, ventilateur, poche de froid instantané, baignoire d'eau glacée, eau, soluté de perfusion, etc...) approprié au traitement des pathologies liées à la chaleur soit disponible sur le lieu d'intervention.

Le coup de chaleur d'exercice est la plus grave des pathologies liées à la chaleur car elle est potentiellement mortelle. Le temps passé avec une température corporelle supérieure à 40°C, dicte la morbi-mortalité de cette pathologie. La mise en route immédiate du traitement adéquate est donc primordiale. Le traitement repose avant tout sur le refroidissement. Malgré l'absence d'étude comparative, l'immersion dans de l'eau froide serait la technique à privilégier (66) en raison de son efficacité (67).

La victime de pathologie liée à la chaleur ne doit pas réengager avant une consultation médicale à distance de l'incident. Certains services médicaux américains font pratiquer un test de tolérance à la chaleur pour évaluer les capacités du sujet à reprendre son activité sportive ou professionnelle après un coup de chaleur d'exercice (68).

## 8. CONCLUSION GENERALE

---

La volonté de la CMIC 33 d'élargir le périmètre de sécurité des interventions risque chimique a permis de s'interroger sur l'utilisation d'appareil respiratoire isolant (**ARI**) de grande capacité.

Lorsque ces derniers sont utilisés sous une tenue de protection chimique (**TPC**), l'ensemble est responsable d'une contrainte cardiorespiratoire et thermique qu'il est nécessaire de réduire au maximum. L'objectif étant d'améliorer la tolérance à ces équipements de protection individuelle et de garantir la sécurité des sapeurs-pompiers dans l'exercice de leurs missions.

Nous supposons que l'**ARI** de grande capacité à circuit-fermé induirait, du fait de son mode de fonctionnement, une astreinte thermique supérieure à celle de l'**ARI** de grande capacité à circuit-ouvert et serait donc moins bien toléré.

Cette hypothèse a été confirmée dans les conditions de notre étude, qui complète la littérature scientifique, jusqu'alors vierge concernant la comparaison de l'astreinte thermique engendrée par des **ARI** de grande capacité aux fonctionnements différents.

L'amélioration de nos connaissances va permettre une meilleure prise en compte des contraintes provoquées par ces **EPI** au moment de l'évaluation de l'aptitude des sapeurs-pompiers à la spécialité risque chimique et lors du soutien sanitaire opérationnel.

De même, cette étude aura permis de valider sur le plan médical la possibilité d'élargir le périmètre de sécurité des interventions risque chimique dans l'objectif d'améliorer la sécurité collective, sous réserve de l'utilisation de l'**ARI** de grande capacité à circuit-ouvert.

La multiplication de manœuvres monitorées semblables à notre étude, dans diverses conditions environnementales, permettrait de généraliser nos conclusions à un plus large panel de conditions opérationnelles.

Enfin, la constatation d'une astreinte cardiorespiratoire et thermique majeure lors de l'utilisation de ces équipements, nous incite à réfléchir sur la place de l'épreuve d'effort dans la surveillance médicale de ces sapeurs-pompiers spécialisés.

# BIBLIOGRAPHIE

1. Arrêté du 6 mai 2000 fixant les conditions d'aptitude médicale des sapeurs-pompiers professionnels et volontaires et les conditions d'exercice de la médecine professionnelle et préventive au sein des services départementaux d'incendie et de secours.
2. Fil Rouge-Journal interne du SDIS 33-numéro 42-fevrier 2016.
3. Guide National de Référence-risque chimique et biologiques-01/03/2016 [Internet]. [cité 6 févr 2017]. Disponible sur: <http://www.interieur.gouv.fr/content/download/36369/275001/file/GNR%20RCH.pdf>
4. Blatteis CM. Age-dependent changes in temperature regulation - a mini review. *Gerontology*. 2012;58(4):289-95.
5. Monod H, Flandrois R, Vandewalle H. 4 - Aspects Mécaniques, Thermiques et Électriques de la Contraction Musculaire. In: *Physiologie du sport* (6e édition) [Internet]. Paris: Elsevier Masson; 2007 [cité 8 mars 2017]. p. 89-113. Disponible sur: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9782294702488500049>
6. Shibasaki M, Wilson TE, Crandall CG. Neural control and mechanisms of eccrine sweating during heat stress and exercise. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. mai 2006;100(5):1692-701.
7. Sequeira H, D'Hondt F. Chapitre 6. L'activité électrodermale dans l'étude de la cognition [Internet]. Dunod; 2016 [cité 12 mars 2017]. Disponible sur: [http://www.cairn.info/resume.php?ID\\_ARTICLE=DUNOD\\_HOT\\_2013\\_01\\_0137](http://www.cairn.info/resume.php?ID_ARTICLE=DUNOD_HOT_2013_01_0137)
8. Bates GP, Miller VS. Sweat rate and sodium loss during work in the heat. *J Occup Med Toxicol Lond Engl*. 29 janv 2008;3:4.
9. Kurz A. Physiology of thermoregulation. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*. déc 2008;22(4):627-44.
10. Tokizawa K, Matsuda-Nakamura M, Tanaka Y, Uchida Y, Lin C-H, Nagashima K. Influence of osmotic stress on thermal perception and thermoregulation in heat is different between sedentary and trained men. *Physiol Behav*. 01 2016;161:66-73.
11. Kellogg DL. In vivo mechanisms of cutaneous vasodilation and vasoconstriction in humans during thermoregulatory challenges. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. mai 2006;100(5):1709-18.
12. Brothers RM, Bhella PS, Shibata S, Wingo JE, Levine BD, Crandall CG. Cardiac systolic and diastolic function during whole body heat stress. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. avr 2009;296(4):H1150-1156.

13. Shibasaki M, Umemoto Y, Kinoshita T, Kouda K, Ito T, Nakamura T, et al. The role of cardiac sympathetic innervation and skin thermoreceptors on cardiac responses during heat stress. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 1 juin 2015;308(11):H1336-1342.
14. Meyer J-P, Martinet C, Payot L, Didry G, Horwat F. Évaluation de l'astreinte thermique à l'aide de la fréquence cardiaque. *Trav Hum*. 2001;64(1):29-44.
15. Sawka MN, Cheuvront SN, Kenefick RW. Hypohydration and Human Performance: Impact of Environment and Physiological Mechanisms. *Sports Med Auckl Nz*. 2015;45(Suppl 1):51-60.
16. Judelson DA, Maresh CM, Anderson JM, Armstrong LE, Casa DJ, Kraemer WJ, et al. Hydration and muscular performance: does fluid balance affect strength, power and high-intensity endurance? *Sports Med Auckl NZ*. 2007;37(10):907-21.
17. Wästerlund DS. A review of heat stress research with application to forestry. *Appl Ergon*. juin 1998;29(3):179-83.
18. Nichols AW. Heat-related illness in sports and exercise. *Curr Rev Musculoskelet Med*. déc 2014;7(4):355-65.
19. Bouchama A, Knochel JP. Heat stroke. *N Engl J Med*. 20 juin 2002;346(25):1978-88.
20. Yan Y-E, Zhao Y-Q, Wang H, Fan M. Pathophysiological factors underlying heatstroke. *Med Hypotheses*. 2006;67(3):609-17.
21. Bourdon L, Canini F, Saïssy J-M, d'Aléo P, Koulmann N, Aubert M, et al. Le coup de chaleur d'exercice : II – Physiopathologie. *Sci Sports*. oct 2003;18(5):241-52.
22. Smolander J, Louhevaara V, Tuomi T, Korhonen O, Jaakkola J. Cardiorespiratory and thermal effects of wearing gas protective clothing. *Int Arch Occup Environ Health*. 1984;54(3):261-70.
23. Holmér I. Protective clothing in hot environments. *Ind Health*. juill 2006;44(3):404-13.
24. Havenith G. Heat balance when wearing protective clothing. *Ann Occup Hyg*. juill 1999;43(5):289-96.
25. Bensel CK. The effects of various thicknesses of chemical protective gloves on manual dexterity. *Ergonomics*. juin 1993;36(6):687-96.
26. Louhevaara VA. Physiological effects associated with the use of respiratory protective devices. A review. *Scand J Work Environ Health*. oct 1984;10(5):275-81.
27. Eves ND, Jones RL, Petersen SR. The influence of the self-contained breathing apparatus (SCBA) on ventilatory function and maximal exercise. *Can J Appl Physiol Rev Can Physiol Appliquée*. oct 2005;30(5):507-19.

28. Mayne JR, Haykowsky MJ, Nelson MD, Hartley TC, Butcher SJ, Jones RL, et al. Effects of the self-contained breathing apparatus on left-ventricular function at rest and during graded exercise. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appl Nutr Metab*. août 2009;34(4):625-31.
29. Nelson MD, Haykowsky MJ, Mayne JR, Jones RL, Petersen SR. Effects of self-contained breathing apparatus on ventricular function during strenuous exercise. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. févr 2009;106(2):395-402.
30. Borghols EA, Dresen MH, Hollander AP. Influence of heavy weight carrying on the cardiorespiratory system during exercise. *Eur J Appl Physiol*. 15 avr 1978;38(3):161-9.
31. Astrand PO. Physical performance as a function of age. *JAMA*. 9 sept 1968;205(11):729-33.
32. Pryor RR, Seitz JR, Morley J, Suyama J, Guyette FX, Reis SE, et al. Estimating Core Temperature with External Devices After Exertional Heat Stress in Thermal Protective Clothing. *Prehosp Emerg Care*. janv 2012;16(1):136-41.
33. Mazerolle SM, Ganio MS, Casa DJ, Vingren J, Klau J. Is oral temperature an accurate measurement of deep body temperature? A systematic review. *J Athl Train*. oct 2011;46(5):566-73.
34. Norme ISO 9886 (2004) Ergonomie - Évaluation de l'astreinte thermique par mesures physiologiques.
35. Norme ISO 10551 (2001) Ergonomie - Evaluation de l'influence des ambiances thermiques à l'aide d'échelles de jugements subjectifs.
36. Norme ISO 7933 (2004) Ergonomie - Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique fondées sur le calcul de l'astreinte thermique prévisible.
37. Turpin-Legendre E, Meyer JP. Intérêt des mesures physiologiques et subjectives pour quantifier l'astreinte thermique: Cas particulier du port de combinaisons étanches. *Réf En Santé Au Trav*. 2012;(131):19-32.
38. Wang F, Kuklane K, Gao C, Holmér I. Can the PHS model (ISO7933) predict reasonable thermophysiological responses while wearing protective clothing in hot environments? *Physiol Meas*. févr 2011;32(2):239-49.
39. Ganio MS, Brown CM, Casa DJ, Becker SM, Yeargin SW, McDermott BP, et al. Validity and reliability of devices that assess body temperature during indoor exercise in the heat. *J Athl Train*. avr 2009;44(2):124-35.
40. Oral temperature as an index of core temperature during heat transients - art%3A10.1007%2F00423239.pdf [Internet]. [cité 17 janv 2016].
41. Beaird JS, Bauman TR, Leeper JD. Oral and tympanic temperatures as heat strain indicators for workers wearing chemical protective clothing. *Am Ind Hyg Assoc J*. avr 1996;57(4):344-7.

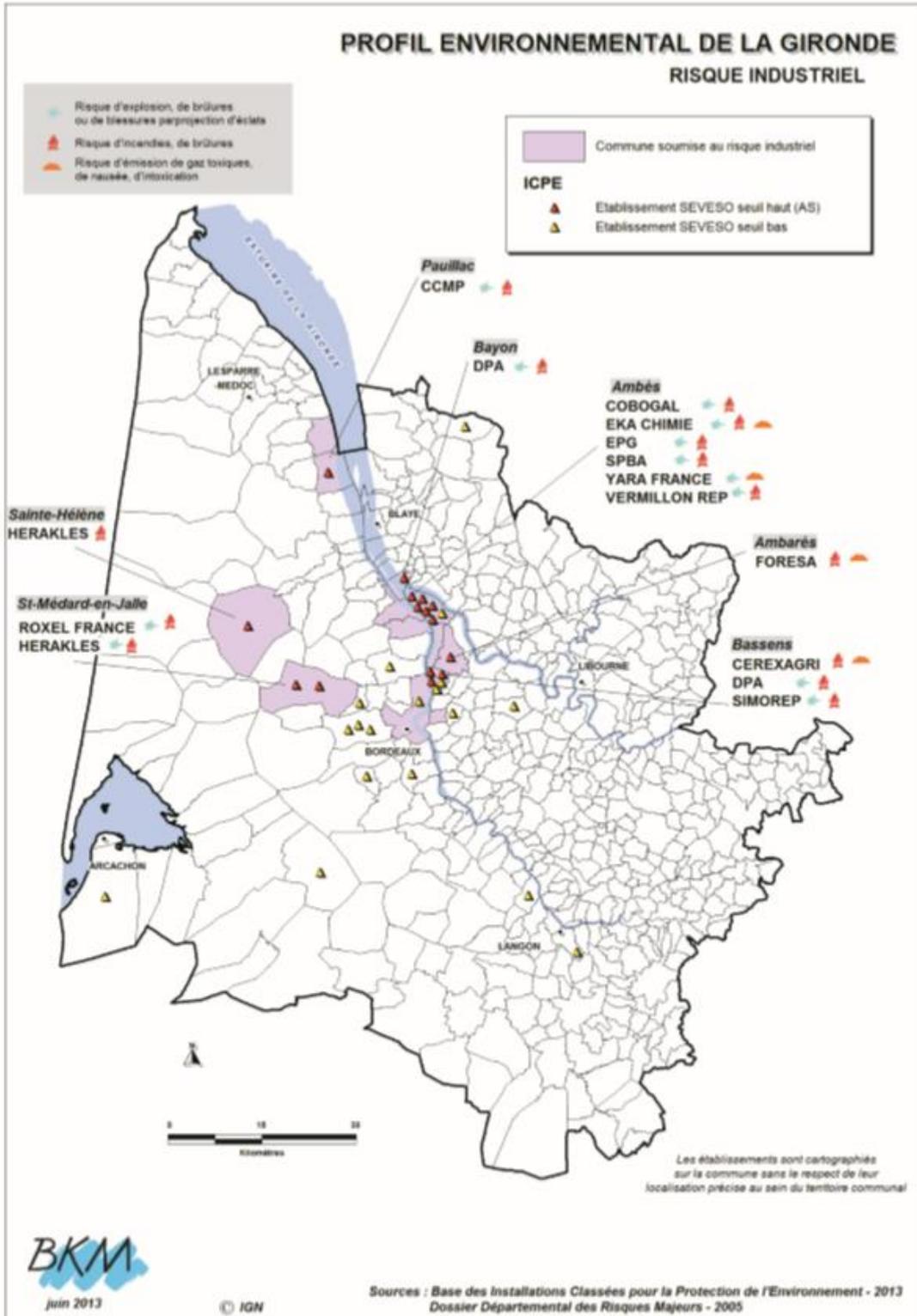
42. PHAN CHAN THE Emile - Interêts et limites de l'évaluation de la charge de travail à l'aide des échelles de Borg - Thèse de doctorat : Nancy : 2002 [Internet]. [cité 18 juill 2017]. Disponible sur: [http://docnum.univ-lorraine.fr/public/SCDMED\\_T\\_2002\\_PHAN\\_CHAN\\_THE\\_EMILE.pdf](http://docnum.univ-lorraine.fr/public/SCDMED_T_2002_PHAN_CHAN_THE_EMILE.pdf)
43. Ilmarinen R, Lindholm H, Koivisto K, Helistén P. Physiological evaluation of chemical protective suit systems (CPSS) in hot conditions. *Int J Occup Saf Ergon JOSE*. 2004;10(3):215-26.
44. Borg DN, Stewart IB, Costello JT. Can perceptual indices estimate physiological strain across a range of environments and metabolic workloads when wearing explosive ordnance disposal and chemical protective clothing? *Physiol Behav*. août 2015;147:71-7.
45. Meyer J-P, Martinet C, Payot L, Didry G, Horwat F. Évaluation de l'astreinte thermique à l'aide de la fréquence cardiaque. *Trav Hum*. 2001;64(1):29-44.
46. Kazman JB, Purvis DL, Heled Y, Lisman P, Atias D, Van Arsdale S, et al. Women and exertional heat illness: identification of gender specific risk factors. *US Army Med Dep J*. juin 2015;58-66.
47. Lisman P, Kazman JB, O'Connor FG, Heled Y, Deuster PA. Heat tolerance testing: association between heat intolerance and anthropometric and fitness measurements. *Mil Med*. nov 2014;179(11):1339-46.
48. Smolander J, Louhevaara V, Korhonen O. Physiological strain in work with gas protective clothing at low ambient temperature. *Am Ind Hyg Assoc J*. déc 1985;46(12):720-3.
49. Bedno SA, Li Y, Han W, Cowan DN, Scott CT, Cavicchia MA, et al. Exertional heat illness among overweight U.S. Army recruits in basic training. *Aviat Space Environ Med*. févr 2010;81(2):107-11.
50. Bedno SA, Urban N, Boivin MR, Cowan DN. Fitness, obesity and risk of heat illness among army trainees. *Occup Med Oxf Engl*. sept 2014;64(6):461-7.
51. Tokizawa K, Sawada S-I, Tai T, Lu J, Oka T, Yasuda A, et al. Effects of partial sleep restriction and subsequent daytime napping on prolonged exertional heat strain. *Occup Environ Med*. juill 2015;72(7):521-8.
52. Druyan A, Atias D, Ketko I, Cohen-Sivan Y, Heled Y. The effects of smoking and nicotine ingestion on exercise heat tolerance. *J Basic Clin Physiol Pharmacol*. 1 mars 2017;28(2):167-70.
53. Falk B, Burstein R, Rosenblum J, Shapiro Y, Zylber-Katz E, Bashan N. Effects of caffeine ingestion on body fluid balance and thermoregulation during exercise. *Can J Physiol Pharmacol*. juill 1990;68(7):889-92.
54. Suvi S, Timpmann S, Tamm M, Aedma M, Kreegipuu K, Ööpik V. Effects of caffeine on endurance capacity and psychological state in young females and males exercising in the heat. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appl Nutr Metab*. janv 2017;42(1):68-76.

55. Périard JD, Travers GJS, Racinais S, Sawka MN. Cardiovascular adaptations supporting human exercise-heat acclimation. *Auton Neurosci Basic Clin.* avr 2016;196:52-62.
56. Périard JD, Racinais S, Sawka MN. Adaptations and mechanisms of human heat acclimation : Applications for competitive athletes and sports. *Scand J Med Sci Sports.* juin 2015;25 Suppl 1:20-38.
57. Tyler CJ, Reeve T, Hodges GJ, Cheung SS. The Effects of Heat Adaptation on Physiology, Perception and Exercise Performance in the Heat : A Meta-Analysis. *Sports Med Auckl NZ.* 22 avr 2016;
58. Cheung SS, McLellan TM. Heat acclimation, aerobic fitness, and hydration effects on tolerance during uncompensable heat stress. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. mai 1998;84(5):1731-9.
59. Chang SK, Gonzalez RR. Benefit of heat acclimation is limited by the evaporative potential when wearing chemical protective clothing. *Ergonomics.* août 1999;42(8):1038-50.
60. Epstein Y, Heled Y, Ketko I, Muginshtein J, Yanovich R, Druyan A, et al. The effect of air permeability characteristics of protective garments on the induced physiological strain under exercise-heat stress. *Ann Occup Hyg.* août 2013;57(7):866-74.
61. Havenith G, den Hartog E, Martini S. Heat stress in chemical protective clothing : porosity and vapour resistance. *Ergonomics.* mai 2011;54(5):497-507.
62. Brassler P. Optimizing the protection against the physiological burden of CBRN clothing. *Int J Occup Saf Ergon JOSE.* 2010;16(2):153-68.
63. Lee J-Y, Nakao K, Takahashi N, Son S-Y, Bakri I, Tochiara Y. Validity of infrared tympanic temperature for the evaluation of heat strain while wearing impermeable protective clothing in hot environments. *Ind Health.* 2011;49(6):714-25.
64. Khomenok GA, Hadid A, Preiss-Bloom O, Yanovich R, Erlich T, Ron-Tal O, et al. Hand immersion in cold water alleviating physiological strain and increasing tolerance to uncompensable heat stress. *Eur J Appl Physiol.* sept 2008;104(2):303-9.
65. McEntire SJ, Suyama J, Hostler D. Mitigation and prevention of exertional heat stress in firefighters : a review of cooling strategies for structural firefighting and hazardous materials responders. *Prehospital Emerg Care Off J Natl Assoc EMS Physicians Natl Assoc State EMS Dir.* juin 2013;17(2):241-60.
66. Casa DJ, DeMartini JK, Bergeron MF, Csillan D, Eichner ER, Lopez RM, et al. National Athletic Trainers' Association Position Statement: Exertional Heat Illnesses. *J Athl Train.* sept 2015;50(9):986-1000.

67. Demartini JK, Casa DJ, Stearns R, Belval L, Crago A, Davis R, et al. Effectiveness of cold water immersion in the treatment of exertional heat stroke at the Falmouth Road Race. *Med Sci Sports Exerc.* févr 2015;47(2):240-5.
68. Kazman JB, Heled Y, Lisman PJ, Druyan A, Deuster PA, O'Connor FG. Exertional heat illness: the role of heat tolerance testing. *Curr Sports Med Rep.* avr 2013;12(2):101-5.

# ANNEXES

## Annexe 1 : Profil environnemental de la Gironde : risque industriel



## Fiche d'information

Comparaison de la tolérance physiologique de deux ARIs « grande capacité » :

ARI à circuit ouvert (Triplair) versus ARI à circuit fermé

### Contexte :

- Volonté de la CMIC **d'élargir le périmètre de sécurité** autour de la zone de danger chimique au cours des interventions RCH
- L'autonomie des ARIs standards (30 minutes environ) actuellement utilisés par les équipiers RCH n'offre pas de marge de manœuvre suffisante en cas d'allongement du temps d'intervention induit par l'élargissement du périmètre de sécurité
- **L'utilisation d'ARI de grande capacité doit donc être envisagée au cours d'interventions RCH**

### ARI de « grande capacité »

- 2 types disponibles : **ARI à circuit ouvert dit « Triplair »** ; **ARI à circuit fermé**
  - Caractéristiques techniques propres : autonomie, poids, recyclage ou non de l'air expiré
    - **Influencent l'endurance, la « performance » de travail**
  - Utilisés sous une **tenue de protection chimique** qui d'elle-même **perturbe la thermorégulation** ; équilibre entre la production et la perte de chaleur par le corps humain, qui permet à ce dernier de maintenir une température relativement constante

### Questions posées

- **Quel est l'impact de l'association ARI de grande capacité-Tenue de protection chimique sur la thermorégulation ?**
- **L'un des ARIs de « grande capacité » est-il moins contraignant sur le plan thermique ?**

### Projet

**Comparaison de l'astreinte thermique générée par les ARIs de « grande capacité »** au cours de manœuvres RCH par **mesures non invasives** de paramètres physiologiques

### Condition de participation

- **Aptitude sapeur-pompier, aptitude RCH**
- Signature de la fiche de **consentement** pour l'exploitation anonyme des mesures physiologiques

### Manœuvres

- **Juillet-Aout-Septembre** : 1 jour par semaine sur environ 7 semaines
- Lieu : **gymnase du CIS de Bruges**
- Marche sur tapis de course à pied à 3 km/h
  1. Pendant 15 minutes : marche simple
  2. Pendant 10 minutes : alternance de 2 minutes consacrées à la pose-dépose d'une bride et de 2 minutes de marche
  3. Pendant 15 minutes : marche simple
- Port de l'ensemble de l'**équipement RCH**
- **Epreuve réalisée deux fois par chaque pompier**
  1. ARI à circuit ouvert dit « triplair »
  2. ARI à circuit fermé

### Mesures

- **Paramètres physiologiques** : avant, possiblement pendant, après épreuve
  - Température sublinguale
  - Poids corporel
  - Fréquence cardiaque
- **Paramètre subjectif** : échelle de Borg (échelle d'évaluation de l'intensité de l'effort)

### Sécurité

- Présence du SSSM, chaque jour d'épreuve pour assurer le soutien sanitaire

# Conseils hygiéno-diététiques

Vous allez participer à une manœuvre au cours de laquelle des paramètres physiologiques simples (poids corporel, fréquence cardiaque, température sublinguale) seront acquis de manière non invasive.

Ces paramètres sont susceptibles d'être influencés par différents facteurs.

Par conséquent, nous vous préconisons de tenir compte des conseils suivants :

- **Hydratation :**
  - Boire 1.5 litres d'eau/jour les jours précédents la manœuvre
- **Alimentation :**
  - Alimentation équilibrée : 3 repas/jour comportant : féculents, légumes, protéines (viandes blanches, poissons), produits laitiers, fruits
  - Ne pas faire la manœuvre à jeun
- **Alcool :**
  - Éviter toute consommation d'alcool la veille et le jour de la manœuvre
- **Café et autres excitants :**
  - Éviter de consommer du café le jour de la manœuvre
- **Substances psychoactives (SPA) :**
  - Éviter toute consommation de SPA (cannabis, etc ...) dans les jours précédents la manœuvre
- **Médicaments :**
  - Prévenir l'investigateur de toute introduction récente de médicament
- **Sommeil :**
  - Faire la manœuvre après une nuit complète de sommeil
- **Sport :**
  - Éviter toute activité physique inhabituellement intense le jour de la manœuvre

## Fiche de consentement

Comparaison de la tolérance physiologique de deux ARIs « grande capacité » :

ARI à circuit ouvert (Triplair) versus ARI à circuit fermé

Je soussigné(e), ....., déclare accepter, librement et de façon éclairée, l'exploitation des paramètres physiologiques mesurés lors des manœuvres de la spécialité RCH dans l'objectif d'une analyse comparative entre 2 appareils respiratoires isolants entrant dans le cadre d'une thèse de médecine du travail.

**SUJET : Comparaison de l'astreinte thermique de deux appareils respiratoires isolants de « grande capacité » utilisés par des pompiers en manœuvre risque chimique**

Sous la direction du : **Docteur François Pantaloni** (médecin hors-classe SPP)

Investigateur principal : **Vincent Monnoir** (interne de spécialité de médecine du travail et médecin Lieutenant SPV)

Objectif de l'étude :

Comparer l'astreinte thermique de deux appareils respiratoires isolants de « grande capacité » afin d'équiper la Cellule Mobile d'Intervention Chimique avec l'ARI de « grande capacité » le moins contraignant sur le plan thermique et physiologique

Engagement du participant :

Le participant s'engage à :

1. Respecter les conseils hygiéno-diététiques en amont de l'épreuve (cf. fiche « conseils hygiéno-diététiques) dans le but d'obtenir des données reproductibles
2. Accepter le monitoring **non invasif** de divers paramètres physiologiques (poids par pèse-personne, fréquence cardiaque par cardiofréquencemètre, température par thermomètre sublingual), avant, pendant et après l'épreuve
3. Autoriser l'investigateur principal à exploiter **de manière anonyme** les mesures de paramètres physiologiques

Engagement de l'investigateur principal :

L'investigateur principal s'engage à :

1. Mener cette étude selon les dispositions éthiques et déontologiques, à protéger l'intégrité physique, psychologique et sociale des personnes tout au long de l'étude et à assurer la confidentialité des informations recueillies
2. Fournir au participant tout le soutien médical permettant d'atténuer les effets négatifs pouvant découler de la participation à cette étude

Liberté du participant :

Le consentement pour poursuivre l'étude peut être retiré à tout moment sans donner de raison et sans encourir aucune responsabilité.

Confidentialité des informations :

Toutes les informations concernant les participants seront conservées de façon anonyme et confidentielle. La transmission des informations concernant le participant pour l'expertise ou pour la publication scientifique sera elle aussi anonyme.

Fait à ..... le ..../...../.....

Signatures :

Le participant

L'investigateur principal

Vincent Monnoir

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Annexe 5 : Echelle de Borg

**ECHELLE DE BORG**

Perception de la fatigue

---



## Annexe 6 : Questionnaire de perception de l'ambiance thermique et de l'équipement

QUESTIONNAIRE de perception de l'ambiance thermique et de l'équipement
--

Nom :

Prénom :

Manœuvre avec l'ARI à circuit ouvert dit « Triplair » :

1. Comment jugez-vous la température ambiante (température du local) dans laquelle vous avez réalisé la manœuvre ? cochez la case correspondante.

Tout à fait supportable	Un peu difficile à supporter	Assez difficile à supporter	Très difficile à supporter	Insupportable

2. Immédiatement avant le début de la manœuvre, vous aviez : cochez la case correspondante.

Extrêmement froid	Très froid	Froid	Légèrement froid	Ni chaud ni froid	Légèrement chaud	Chaud	Très chaud	Extrêmement chaud

3. A la toute fin de l'épreuve, avant d'ouvrir l'EPI de type I, vous aviez : cochez la case correspondante.

Extrêmement froid	Très froid	Froid	Légèrement froid	Ni chaud ni froid	Légèrement chaud	Chaud	Très chaud	Extrêmement chaud

4. Comment jugez-vous votre équipement (**ARI à circuit ouvert dit « Triplair »** et EPI de type I) par rapport :

	Pas du tout satisfaisant	Peu satisfaisant	Moyennement satisfaisant	Satisfaisant	Très satisfaisant
Au confort thermique dans l'EPI de type I					
A la transpiration induite					
Au poids					
A l'aisance dans les mouvements					
A la visibilité					

Manœuvre avec l'ARI à circuit fermé :

1. Comment jugez-vous la température ambiante (température du local) dans laquelle vous avez réalisé la manœuvre ? cochez la case correspondante.

Tout à fait supportable	Un peu difficile à supporter	Assez difficile à supporter	Très difficile à supporter	Insupportable

2. Immédiatement avant le début de la manœuvre, vous aviez : cochez la case correspondante.

Extrêmement froid	Très froid	Froid	Légèrement froid	Ni chaud ni froid	Légèrement chaud	Chaud	Très chaud	Extrêmement chaud

3. A la toute fin de l'épreuve, avant d'ouvrir l'EPI de type I, vous aviez : cochez la case correspondante.

Extrêmement froid	Très froid	Froid	Légèrement froid	Ni chaud ni froid	Légèrement chaud	Chaud	Très chaud	Extrêmement chaud

4. Comment jugez-vous votre équipement (**ARI à circuit fermé** et EPI de type I) par rapport :

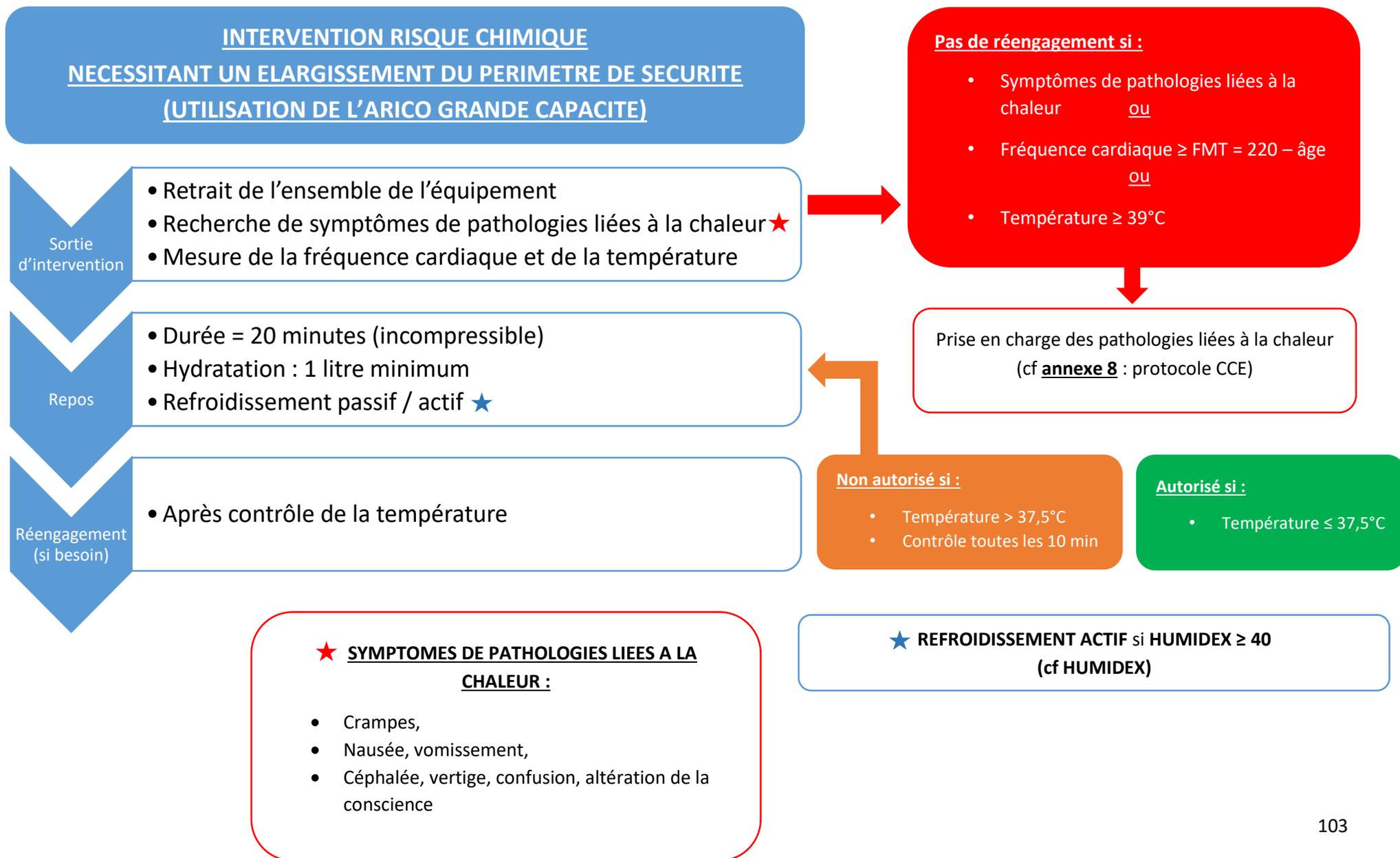
	Pas du tout satisfaisant	Peu satisfaisant	Moyennement satisfaisant	Satisfaisant	Très satisfaisant
Au confort thermique dans l'EPI de type I					
A la transpiration induite					
Au poids					
A l'aisance dans les mouvements					
A la visibilité					

Maintenant que vous avez réalisé la manœuvre avec les deux ARI, modifieriez-vous vos réponses concernant le premier ARI testé ? Entourez la réponse de votre choix : OUI NON

Si oui, cela aboutirait à la conclusion suivante :

ARI à circuit ouvert dit « Triplair » est plus confortable	Pas de différence en terme de confort entre les deux ARI	ARI à circuit fermé est plus confortable

**Annexe 7 : Algorithme décisionnel pour le réengagement après intervention risque chimique avec utilisation d'un ARI de grande**



## Annexe 8 : Protocole Infirmier de Soins d'Urgence : coup de chaleur

	<b>SERVICE MEDICAL</b>	<b>Création le 31/03/2008</b>	
	<b>Guide des Bonnes Pratiques en Soins Infirmiers</b>	<b>Révision le 27/03/2017</b>	
	<b>Protocoles Infirmiers de Soins d'Urgence</b>	<b>Version 2017.2</b>	<b>40/43</b>

### Le coup de chaleur chez le sapeur pompier

#### Critères d'application :

- Sapeur pompier dans l'exercice de ses fonctions
- Et trouble(s) conscience (confusion, désorientation, délire,...)
- Et
  - × soit signes cliniques de coup de chaleur : Hyperthermie > à 40°C ; téguments chauds ; dilatation veineuse intense, muqueuses sèches.
  - × Soit signes de déshydratation : soif, sécheresse bouche et muqueuses ; fatigue croissante ; persistance du pli cutané.
  - × Soit signes de détresse circulatoire : tachycardie > à 100 bpm et/ou PAS < à 90 mmHg

#### Critères d'exclusion :

- Hors critères d'application.

#### Conduite à tenir :

- Déshabiller
- Examen clinique infirmier
- Gestes secouristes
- Refroidissement par brumisation et packs de froid sur les plis inguinaux et axillaires
- Poser une voie veineuse périphérique (cf protocole V.V.P).
- Administration médicamenteuse :
  - NaCl 0,9% 500ml, débit 20 ml/kg sur une heure à adapter en fonction de l'évolution.
- Bilan au CRRA 15 et à l'OPMED via CTA/CODIS.

#### Surveillance :

- Examen clinique infirmier
- Évaluation de l'efficacité du traitement
- Évaluation de l'innocuité de l'action de soin réalisée
- Et adaptation des actions de soins

# SERMENT

« Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences. Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité. Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque. »

## **COMPARING THERMAL STRAIN CAUSED BY LARGE-CAPACITY OPEN-CIRCUIT SELF-CONTAINED BREATHING APPARATUS (OC-SCBA) AND CLOSED-CIRCUIT SELF-CONTAINED BREATHING APPARATUS (CC-SCBA) AMONG FIREFIGHTERS.**

**INTRODUCTION** : Expanding the security perimeter on an intervention site involving a chemical risk is considered thanks to “large-capacity” CC-SCBA or OC-SCBA. As these equipments cause an important thermal strain, they may provoke heat-related illness.

**OBJECTIVE** : The study intended to bring medical arguments to determine which “large-capacity” SCBA is the most adapted to this type of intervention, by comparing the thermal strain of OC-SCBA and CC-SCBA, when wearing a Chemical Protective Suit (CPS).

**METHODS** : 20 firefighters each went through two treadmill tests : one with an OC-SCBA, and another with and CC-SCBA. Different environmental and physiologist parameters, linked to thermal strain, were recorded before and after each test.

**RESULTS** : In the conditions of our study, the CC-SCBA was physiologically more constraining than the OC-SCBA. The final central temperature ( $39^{\circ}\text{C}\pm 0.6$  vs  $37.8^{\circ}\text{C}\pm 0.5$ ) and its variation ( $1.8^{\circ}\text{C}\pm 0.5$  vs  $0.6^{\circ}\text{C}\pm 0.5$ ), thermal cardiac beats ( $43\text{ bpm}\pm 13$  vs  $31\text{ bpm}\pm 11$ ), the average Borg ( $13\pm 1.9$  vs  $12\pm 1.6$ ) with the CC SCBA were significantly ( $p<0.05$ ) higher than with the OC-SCBA.

**CONCLUSION** : When wearing a Chemical Protective Suit, the CC-SCBA is physiologically more constraining than the “large-capacity” OC-SCBA. From a medical standpoint, we thus recommend the use of the OC-SCBA if the intervention involving a chemical risk requires expanding the security perimeter.

**Keywords** : thermal strain, open-circuit self-contained breathing apparatus, closed-circuit self-contained breathing apparatus, chemical protective suit, chemical risk, firefighters, rehabilitation, personal protective equipment



# COMPARAISON DE L'ASTREINTE THERMIQUE INDUITE PAR LES APPAREILS RESPIRATOIRES ISOLANTS DE GRANDE CAPACITE À CIRCUIT-OUVERT ET À CIRCUIT-FERMÉ CHEZ LES SAPEURS-POMPIERS

**INTRODUCTION :** Une augmentation du périmètre de sécurité sur intervention avec risque chimique est envisagée au moyen d'appareils respiratoires isolants (ARI) de grande capacité à circuit-ouvert (CO) ou à circuit-fermé (CF). Ces équipements entraînant une astreinte thermique importante peuvent provoquer la survenue de pathologies liées à la chaleur.

**OBJECTIF :** L'étude était destinée à apporter des arguments médicaux pour le choix de l'ARI de « grande capacité » le plus adapté à ce type d'intervention, en comparant l'astreinte thermique de l'ARICO et de l'ARICF, associés au port d'une tenue de protection chimique.

**METHODES :** 20 sapeurs-pompiers ont réalisé chacun deux épreuves de marche sur tapis de course : l'une avec l'ARICO, l'autre avec l'ARICF. Différents paramètres environnementaux et physiologiques en lien avec l'astreinte thermique ont été mesurés avant et après chaque épreuve.

**RESULTATS :** Dans les conditions de notre étude, l'ARICF était physiologiquement plus contraignant que l'ARICO. La température centrale finale ( $39^{\circ}\text{C}\pm 0.6$  vs  $37.8^{\circ}\text{C}\pm 0.5$ ) et sa variation ( $1.8^{\circ}\text{C}\pm 0.5$  vs  $0.6^{\circ}\text{C}\pm 0.5$ ), les pulsations cardiaques thermique ( $43\text{ bpm}\pm 13$  vs  $31\text{ bpm}\pm 11$ ), le Borg moyen ( $13\pm 1.9$  vs  $12\pm 1.6$ ) avec l'ARICF étaient significativement ( $p < 0.05$ ) plus élevés qu'avec l'ARICO.

**CONCLUSION :** Associé à une tenue de protection chimique, l'ARICF est physiologiquement plus contraignant que l'ARICO « grande capacité ». D'un point de vue médical, nous préconisons l'utilisation de l'ARICO si l'intervention risque chimique nécessite un élargissement du périmètre de sécurité.

**Mots clés :** astreinte thermique, appareil respiratoire isolant à circuit-ouvert, appareil respiratoire isolant à circuit-fermé, tenue de protection chimique, risque chimique, sapeurs-pompiers, soutien sanitaire, équipement de protection individuelle