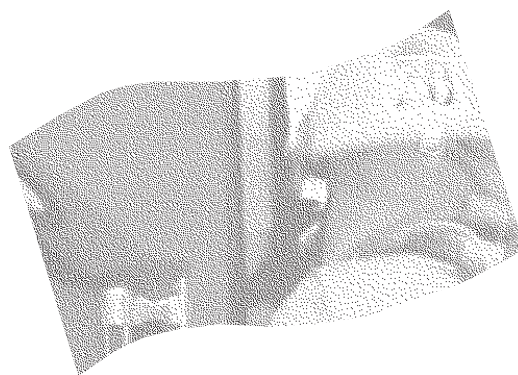


# Évaluation des contraintes physiques associées au port de différents vêtements individuels de protection des pompiers



# ÉTUDES ET RECHERCHES

Denis Marchand  
Guy Tremblay  
Chantal Tellier

R-444

RAPPORT





**Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.**

## **NOS RECHERCHES** *travaillent pour vous !*

### **MISSION**

- ▶ Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.
- ▶ Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.
- ▶ Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

### **POUR EN SAVOIR PLUS...**

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement.

**[www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)**

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CSST.

**Abonnement : 1-877-221-7046**

IRSST - Direction des communications  
505, boul. De Maisonneuve Ouest  
Montréal (Québec)  
H3A 3C2

Téléphone : 514 288-1551

Télécopieur : 514 288-7636

[publications@irsst.qc.ca](mailto:publications@irsst.qc.ca)

**[www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)**

Institut de recherche Robert-Sauvé  
en santé et en sécurité du travail,  
janvier 2006

# Évaluation des contraintes physiques associées au port de différents vêtements individuels de protection des pompiers

Denis Marchand et Guy Tremblay,  
Département de kinanthropologie, UQAM  
Chantal Tellier, Sécurité-ingénierie, IRSST

# ÉTUDES ET RECHERCHES

## RAPPORT

### Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

Cliquez recherche  
[www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)



Cette publication est disponible en version PDF sur le site Web de l'IRSST.

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

**CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST**

**Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document  
ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.**



## SOMMAIRE

Lors des interventions sur les lieux d'un incendie, les pompiers sont soumis à des contraintes physiques et physiologiques importantes (Baker et coll., 2000 ; Cloutier et Champoux, 2000 ; Ftaiti et coll., 2001 ; Griefahn et coll., 2003). Le travail des pompiers est souvent très exigeant pour le système cardiorespiratoire, car il implique des efforts physiques importants dans des conditions où la chaleur ambiante est très élevée. Selon la littérature existante, une bonne partie de la charge physique serait associée au port du vêtement individuel de protection (VIP) et à l'appareil de respiration autonome (ARA). Pour Ftaiti et coll. (2001), les adaptations cardiovasculaires causées par le port d'un VIP pourraient même influencer la capacité physique des pompiers et nuire lors d'une intervention où ils ont à sauver des vies. Cette situation qui affecte l'efficacité des pompiers serait attribuable au poids et à l'encombrement de l'équipement porté. L'objectif de cette étude vise à documenter les avantages et les désavantages qu'entraîne le port de certains modèles de VIP et de les transmettre aux principaux corps de pompier de la province.

Cette étude avait pour but de comparer cinq modèles de VIP à l'aide de différents tests. Elle devait aussi vérifier les effets engendrés par le lavage répété des VIP. Les tests utilisés comportaient des épreuves sur tapis roulant dans des conditions de température normale et élevée, des simulations de tâches courantes réalisées sur les lieux d'un incendie et un test simulant les mouvements des membres supérieurs associés à la montée d'une échelle. Cinq pompiers professionnels de la Ville de Montréal ont participé à ces différents tests qui se sont déroulés sur plusieurs jours. Pour évaluer les niveaux de contraintes associés au port des différents VIP, les mesures suivantes ont été réalisées, soit la consommation d'oxygène, les fréquences cardiaques, l'évaluation psychophysique, la température cutanée, le taux d'humidité, et l'électromyographie des muscles des membres supérieurs.

Pour l'ensemble des variables physiologiques mesurées, les résultats suggèrent que les modèles de VIP évalués dans cette étude ne présentent pas de différences significatives entre eux. Les résultats obtenus sur le tapis roulant démontrent plutôt que le port de ces vêtements cause une augmentation importante de la demande cardiorespiratoire. Pour les tests en environnement chaud, certains pompiers ont atteint la limite de 85 % de la fréquence cardiaque maximale qui était le critère retenu pour mettre fin au test. Cette situation démontre bien l'impact de la combinaison chaleur ambiante et port d'un VIP puisque la charge de travail imposée par la vitesse du tapis ne représentait que 40 % de la  $VO_2$ max pour chaque pompier. Les résultats laissent voir que les dix lavages subis par les VIP sont suffisants pour réduire significativement la contrainte physiologique imposée par le port de ces vêtements. Pour sa part, l'analyse électromyographique de la demande musculaire des membres supérieurs ne permet pas non plus de discriminer les VIP étudiés entre eux. Pour l'analyse psychophysique, il y a seulement un test qui démontre une appréciation subjective différente pour un des VIP.

Les résultats des analyses physiologiques ne permettent pas de proposer un classement valide des différents VIP étudiés. Cette absence de différences significatives peut être associée au fait que les cinq modèles deux pièces utilisées étaient très similaires. Les modèles une pièce devraient être considérés dans une prochaine étude puisqu'ils n'ont pas de superposition de matériaux entre le manteau et le pantalon au niveau de la hanche. Cette superposition augmente probablement les contraintes mécaniques imposées aux muscles responsables de la flexion de la hanche.

## **REMERCIEMENTS**

L'équipe de recherche tient à remercier messieurs Hector Chiasson et Normand Lalonde du Service de pompier de la Ville de Montréal pour le temps consacré au recrutement des sujets et à la disponibilité des équipements utilisés dans cette étude. L'équipe tient également à remercier les pompiers de la Ville de Montréal qui ont participé à l'étude. Des remerciements particuliers sont adressés à monsieur Alain Comptois, professeur et madame Carole Roy, technicienne en électrophysiologie pour leur aide précieuse durant la prise des données au laboratoire d'ergonomie du Département de kinanthropologie. Des remerciements à messieurs François Robillard, Vincent Cardinal, Bruno Lavigneur et David Brouillette tous étudiants à la maîtrise en kinanthropologie, pour leur aide technique.

## TABLE DES MATIÈRES

	Page
1. INTRODUCTION .....	1
2. REVUE DE LA LITTÉRATURE .....	3
2.1 Le travail des pompiers .....	3
2.2 Les études similaires .....	5
2.3 La marche .....	9
2.4 Mesure de la consommation d'oxygène (VO <sub>2</sub> ) .....	13
2.5 Les fréquences cardiaques (Fc) .....	14
2.6 La température ambiante et corporelle .....	19
2.7 Le taux d'humidité .....	22
2.8 La fatigue et la déshydratation .....	23
2.9 Les évaluations psychophysiques de l'effort .....	25
2.10 Synthèse de la revue .....	25
3. MÉTHODOLOGIE .....	27
3.1 Sujets .....	27
3.2 Tests utilisés et variables indépendantes .....	29
3.2.1 Le prétest .....	29
3.2.2 Tests d'appréciations subjectives du confort .....	30
3.2.3 Tests de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré .....	31
3.2.4 Tests de marche sur le tapis roulant en environnement chaud .....	31
3.3 Les vêtements individuels de protection (variables indépendantes) .....	32
3.4 Variables mesurées (variables dépendantes) .....	33
3.4.1 La consommation d'oxygène (VO <sub>2</sub> ) .....	33
3.4.2 La fréquence cardiaque (Fc) .....	33
3.4.3 Les cotes psychophysiques .....	33
3.4.4 La température corporelle .....	34
3.4.5 Le taux d'humidité relative et la température à l'intérieur du VIP .....	34
3.5 Variables extrinsèques .....	35
3.6 Évaluation de la charge musculaire aux membres supérieurs (étude exploratoire) .....	36
4. RÉSULTATS .....	41
4.1 Les résultats des tests d'appréciations subjectives du confort .....	41
4.2 Les résultats des tests de marche sur le tapis roulant environnement tempéré .....	43
4.2.1 Contrôle des conditions environnementales .....	43
4.2.2 Fréquence cardiaque .....	45
4.2.3 Coût cardiaque .....	50
4.2.4 Consommation d'oxygène .....	52
4.2.5 La température cutanée .....	55
4.2.6 Évaluation psychophysique .....	58
4.3 Les résultats des tests de marche sur le tapis roulant en environnement chaud .....	61
4.3.1 Contrôle des conditions environnementales .....	61
4.3.2 Fréquence cardiaque .....	63

4.3.3	Coût cardiaque .....	66
4.3.4	Consommation d'oxygène .....	69
4.3.5	La température cutanée .....	73
4.3.6	Évaluation psychophysique .....	76
4.4	Comparaison entre les VIP et les tests de la condition de contrôle en environnement tempéré.....	77
4.4.1	Fréquence cardiaque .....	78
4.4.2	Coût cardiaque .....	79
4.4.3	La température cutanée .....	81
4.4.4	Évaluation psychophysique .....	83
4.5	Comparaison entre les tests avec les VIP et les tests de la condition de contrôle en environnement chaud .....	85
4.5.1	Fréquence cardiaque .....	85
4.5.2	Coût cardiaque .....	87
4.5.3	La température cutanée .....	89
4.5.4	L'évaluation psychophysique .....	91
4.6	Comparaison entre les tests en environnement tempéré et en environnement chaud ..	93
4.7	Les résultats des analyses EMG.....	95
5.	DISCUSSION .....	101
5.1	Les vêtements individuels de protection.....	101
5.1.1	Adaptations physiologiques entraînées par le port d'un VIP.....	101
5.1.1.1	Augmentation entre les conditions SVIP et VIP en environnement tempéré .....	103
5.1.1.2	Augmentation entre les conditions SVIP et VIP en environnement chaud .....	104
5.1.2	Comparaison entre les modèles de VIP .....	104
5.2	L'effet du lavage des VIP .....	106
5.3	L'interaction entre les VIP et leurs lavages .....	107
5.4	La comparaison des environnements .....	107
6.	CONCLUSION.....	109
7.	RECOMMANDATIONS .....	111
8.	RÉFÉRENCES .....	113
	ANNEXE A .....	119
	ANNEXE B .....	121
	ANNEXE C .....	125
	ANNEXE D .....	133
	ANNEXE E.....	135
	ANNEXE F .....	137



## LISTE DES TABLEAUX

		Page
Tableau 2.1	Relation entre le pourcentage du VO <sub>2</sub> max et le pourcentage de la fréquence cardiaque maximale (Tiré de McArdle, Katch et Katch, 2001).....	17
Tableau 3.1	Caractéristiques des sujets .....	27
Tableau 3.2	Caractéristiques des vêtements individuels de protection .....	33
Tableau 4.1	Résultats des ANOVA avec correction Huynh-Feldt pour les facteurs lavage, VIP et leur interaction (lavage *VIP) lors des tests d'appréciations subjectives du confort réalisés par les sujets (*p<0,05) .....	41
Tableau 4.2	Analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt des contrastes pour le facteur VIP lors du test consistant à faire une torsion du tronc avec un genou au sol (*p<0,05) .....	42
Tableau 4.3	Résultats des analyses statistiques pour les facteurs lavage, VIP et leur interaction avec une correction Huynh-Feldt des conditions environnementales pour les tests de marche en environnement tempéré (*p<0,05).....	43
Tableau 4.4	Résultats des analyses statistiques pour les facteurs lavage et VIP ainsi que leur interaction avec une correction Huynh-Feldt de la Fc réelle et calculée avec une droite de régression pour les tests de marche en environnement tempéré (*p<0,05).....	48
Tableau 4.5	Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt du CC calculé avec une droite de régression durant les tests de marche en environnement tempéré pour les facteurs lavage et VIP ainsi que leur interaction (lavage*VIP) (*p<0,05).....	50
Tableau 4.6	Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de la VO <sub>2</sub> durant les trois dernières minutes des tests de marche en environnement tempéré pour les facteurs lavage et VIP ainsi que leur interaction (lavage*VIP) (*p<0,05).....	53
Tableau 4.7	Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de la température cutanée à la 20e minute des tests de marche en environnement tempéré pour les facteurs lavage et VIP ainsi que leur interaction (lavage*VIP) (*p<0,05).....	56
Tableau 4.8	Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de l'évaluation psychophysique à la 20e minute des tests de marche en environnement tempéré pour les facteurs lavage, VIP et leurs interactions (lavage*VIP) (*p<0,05) .....	59
Tableau 4.9	Résultats des analyses statistiques pour les facteurs lavage, VIP et leurs interactions avec une correction Huynh-Feldt des conditions environnementales pour les tests de marche en environnement chaud (*p<0,05).61	61
Tableau 4.10	Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de la Fc calculée avec une droite de régression pour les tests de marche en environnement chaud pour les facteurs lavage, VIP et leur interaction (*p<0,05).....	64

## LISTE DES TABLEAUX (suite)

	<b>Page</b>
Tableau 4.11 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt du CC calculé avec une droite de régression durant les tests de marche en environnement chaud pour les facteurs lavage, VIP et leur interaction (lavage*VIP) (* $p < 0,05$ ).....	67
Tableau 4.12 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de la $VO_2$ durant les trois dernières minutes des tests de marche en environnement chaud pour les facteurs lavage, VIP et leur interaction (lavage*VIP).....	71
Tableau 4.13 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de la température cutanée à la fin des tests de marche en environnement chaud pour les facteurs lavage, VIP et leur interaction (lavage*VIP) (* $p < 0,05$ ).....	73
Tableau 4.14 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de l'évaluation psychophysique à la 20 <sup>e</sup> minute des tests de marche en environnement chaud pour les facteurs lavage, VIP et leur interaction (lavage*VIP) (* $p < 0,05$ ).....	76
Tableau 4.15 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de la Fc à la 20 <sup>e</sup> minute des tests de marche en environnement tempéré pour les VIP lavés et la condition SVIP (* $p < 0,05$ ).....	79
Tableau 4.16 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt du CC à la 20 <sup>e</sup> minute des tests de marche en environnement tempéré pour les VIP lavés et la condition SVIP (* $p < 0,05$ ).....	80
Tableau 4.17 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de la température cutanée à la 20 <sup>e</sup> minute des tests de marche en environnement tempéré pour les VIP lavés et la condition SVIP (* $p < 0,05$ ).....	82
Tableau 4.18 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de l'évaluation psychophysique à la 20 <sup>e</sup> minute des tests de marche en environnement tempéré pour les VIP lavés et la condition SVIP (* $p < 0,05$ )....	84
Tableau 4.19 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de la Fc à la 20 <sup>e</sup> minute des tests de marche en environnement chaud pour les VIP lavés et la condition SVIP (* $p < 0,05$ ).....	86
Tableau 4.20 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt du CC à la 20 <sup>e</sup> minute des tests de marche en environnement chaud pour les VIP lavés et la condition SVIP (* $p < 0,05$ ).....	88
Tableau 4.21 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de l'évaluation psychophysique à la 20 <sup>e</sup> minute des tests de marche en environnement chaud pour les VIP lavés et la condition SVIP (* $p < 0,05$ ).....	92
Tableau 4.22 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt des variables dépendantes à la 20 <sup>e</sup> minute des tests de marche en environnement tempéré et chaud avec les VIP lavés. Analyses statistiques pour le facteur environnement (* $p < 0,05$ ).....	93
Tableau 4.23 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de l'activation musculaire moyenne du deltoïde antérieur en fonction du test de standardisation des sujets pour les facteurs lavage, VIP et leur interaction (lavage*VIP).....	96

## LISTE DES TABLEAUX (suite)

	<b>Page</b>
Tableau 4.24 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de l'activation musculaire moyenne du deltoïde antérieur en fonction du test de standardisation des sujets pour les VIP (*p<0,05) .....	96
Tableau 4.25 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de l'activation musculaire moyenne du triceps en fonction du test de standardisation des sujets pour les facteurs lavage, VIP et leur interaction (lavage*VIP) (*p<0,05) .....	98
Tableau 4.26 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de l'activation musculaire moyenne du triceps en fonction du test de standardisation des sujets pour les VIP (*p<0,05).....	98

## LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 2.1 (a) Changement de la Fc de 6 pompiers durant une course de 15 minutes à 70 % du VO <sub>2</sub> max. J0 avec une tenue sportive, J1 à J5 les 5 VIP testés durant cette étude. L'exercice avec le J1 (VIP de cuir) a démontré une différence significative avec les autres VIP. (b) Moyennes des Fc mesurées à la fin (***) $p < 0,001$ comparé à J1). (Tirée de Ftaiti et coll., 2001) .....	6
Figure 2.2 Fréquences cardiaques des pompiers lors d'un test en laboratoire SVIP (TL), en environnement tempéré avec VIP (BL) et dans un sauna avec VIP (TS). (Tirée de Duncan, Gardner et Barnard, 1979) .....	7
Figure 2.3 Température cutanée des pompiers lors d'un test en laboratoire SVIP (TL), en environnement tempéré avec VIP (BL) et dans un sauna avec VIP (TS). (Tirée de Duncan, Gardner et Barnard, 1979) .....	7
Figure 2.4 Dépense énergétique au cours d'un exercice de marche à différentes vitesses. (Tirée de McArdle, Katch et Katch, 2001) .....	9
Figure 2.5 Relation entre la masse corporelle et la consommation d'oxygène mesurée au cours d'un exercice de marche vive sur tapis roulant. (Tirée de McArdle, Katch et Katch, 2001) .....	10
Figure 2.6 Dépense énergétique au cours de la marche sur tapis roulant. À gauche : la dépense énergétique en fonction de la vitesse. À droite : la dépense énergétique en fonction de la vitesse et de la pente du tapis roulant. (Tirée de Scherrer, 1981) .....	11
Figure 2.7 Vitesse optimale de la marche. La dépense énergétique est représentée en fonction de la vitesse de marche, pour quatre conditions expérimentales : pieds nus (●), chaussures de 800g (x), chaussures de 1300g (Δ), chaussures de 1800g (o). (Tirée de Scherrer, 1981) .....	12
Figure 2.8 Relation entre la consommation d'oxygène et la vitesse de marche et de course chez des marcheurs de compétition sur tapis roulant. (Tirée de McArdle, Katch et Katch, 2001) .....	12
Figure 2.9 Évolution de la consommation d'oxygène au cours d'un jogging à faible vitesse chez des individus entraînés à l'endurance et non entraînés qui consomment la même quantité d'oxygène. (Tirée de McArdle, Katch et Katch, 2001) .....	13
Figure 2.10 Fréquence cardiaque et métabolisme. L'intensité des échanges énergétiques est représentée sous forme d'un cube dont les trois arêtes sont respectivement le volume d'éjection systolique, la fréquence cardiaque et la différence artérioveineuse d'oxygène. Le débit cardiaque est le produit de la fréquence cardiaque par le volume d'éjection systolique ; le volume d'oxygène consommé par unité de temps est égal au produit du pouls d'oxygène par la fréquence cardiaque ou la différence artérioveineuse d'oxygène par le débit cardiaque. (Tirée de Monod et Kapitaniak, 1999). .....	15
Figure 2.11 Relation linéaire entre la fréquence cardiaque et la consommation d'oxygène de deux joueurs de Basket-ball de niveau collégial au cours d'un exercice de course sur tapis roulant. (Tirée de McArdle, Katch et Katch, 2001) .....	16

## LISTE DES FIGURES (suite)

	Page
Figure 2.12 Le coût cardiaque relatif. Le calcul de celui-ci se fait en tenant compte : (1) des valeurs de fréquence cardiaque mesurée au cours de trois épreuves sur bicyclette (o) et au cours du poste de travail étudié ( $\Delta$ ); (2) d'une fréquence cardiaque maximale théorique de 170 bpm ; (3) de la fréquence cardiaque de repos mesurée ou extrapolée ( $\bullet$ ). Une marge de variation de cette dernière a été représentée. (Tirée de Scherrer, 1981) .....	18
Figure 2.13 Voies des échanges de chaleur entre le corps humain et l'ambiance. Exemple concernant un homme dans une pièce à 21°C. La répartition des pertes est indiquée pour chacune des voies. (Tirée de Monod et Kapitaniak, 1999).....	19
Figure 2.14 Courbes de la consommation d'oxygène et du rythme cardiaque au cours de cycles répétés. Travail de cinq minutes sur bicyclette ergométrique. Pause assez longue pour que la consommation d'oxygène revienne à son niveau de repos. (Tirée de Brouha, 1963) .....	21
Figure 2.15 (a) Changement de la température tympanique de six pompiers durant l'exercice. J2 et J4 ont apporté une hausse de la température tympanique plus faible. (b) Moyennes des températures tympaniques FC mesurées à la fin des tests avec (J1 à J5) et SVIP (J0) (***) $p < 0,001$ comparé à J1). (Tirée de Ftaiti et al., 2001) .....	22
Figure 2.16 Consommation d'oxygène durant et au cours de la récupération suivant un exercice léger (A), un exercice modéré à intense (B) et un exercice intense qui n'a pas permis au métabolisme aérobie de se stabiliser. La phase initiale de la récupération est rapide; la phase subséquente, plus lente, peut-être passablement longue avant que la consommation d'oxygène ne revienne au niveau préexercice. Au cours de l'exercice intense, le besoin d'oxygène est supérieur à la consommation d'oxygène. (Tirée de McArdle, Katch et Katch, 2001) .....	23
Figure 2.17 Fréquence cardiaque et évaluation psychophysique pour la condition avec VIP à 45°C. Valeurs moyennes des 6 sujets durant la condition de 60 minutes. (Tirée de Sköldström, 1987) .....	25
Figure 3.1 La démarche utilisée pour réaliser l'étude .....	28
Figure 3.2 Photos, intérieur et extérieur, de la chambre isolée utilisée dans cette étude .....	32
Figure 3.3 Représentation de l'amplitude des mouvements réalisés lors du test pour les membres supérieurs .....	37
Figure 3.4 Représentation du montage utilisé pour capter le contact de main.....	38
Figure 3.5 Position du sujet lors des tests de standardisation. A) position pour le deltoïde antérieur B) position pour le triceps.....	39
Figure 4.1 Résultats du facteur VIP sur l'évaluation psychophysique du confort à l'aide d'une échelle visuelle analogue des sujets pour le test consistant à faire une torsion du tronc avec un genou au sol.....	42

## LISTE DES FIGURES (suite)

		<b>Page</b>
Figure 4.2	Note globale des VIP pour les 17 tests d'appréciations subjectives du confort en fonction de leur rang à chacun des tests où la première position représente la note la plus élevée .....	43
Figure 4.3	Température de la pièce, en environnement tempéré pour le facteur lavage.....	44
Figure 4.4	Température de la pièce, en environnement tempéré pour le facteur VIP.....	44
Figure 4.5	Humidité relative de la pièce, en environnement tempéré pour le facteur lavage (*p<0,05).....	45
Figure 4.6	Humidité relative de la pièce, en environnement tempéré pour le facteur VIP .....	45
Figure 4.7	Représentation brute des résultats de la fréquence cardiaque pour les 5 sujets lors du test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré avec le port du VIP 2 .....	47
Figure 4.8	Représentation des droites de régression linéaire utilisées pour prédire la fréquence cardiaque des 5 sujets lors du test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré avec le port du VIP 2.....	47
Figure 4.9	Évolution de la Fc dans le temps, Fc calculée à partir des droites de régressions pour le facteur lavage.....	49
Figure 4.10	Évolution de la Fc dans le temps, Fc calculée à partir des droites de régressions pour le facteur VIP.....	49
Figure 4.11	Évolution du CC dans le temps, CC calculé à partir des droites de régressions pour le facteur lavage.....	51
Figure 4.12	Évolution du CC dans le temps durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré, CC calculé à partir des droites de régressions pour le facteur VIP .....	51
Figure 4.13	Évolution de la consommation d'oxygène moyenne (L/min) du sujet 5 avec le VIP 2 neuf durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré. a) avant que les données soient retirées b) après que les données soient retirées .....	52
Figure 4.14	Évolution de la consommation d'oxygène moyenne des 5 sujets pour le facteur lavage et le facteur VIP durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré.....	54
Figure 4.15	Consommation d'oxygène moyenne du sujet pour le facteur lavage durant les trois dernières minutes du test de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré.....	55
Figure 4.16	Consommation d'oxygène moyenne du sujet pour le facteur VIP durant les trois dernières minutes du test de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré.....	55
Figure 4.17	Évolution de la température cutanée moyenne des 5 sujets pour le facteur lavage et le facteur VIP durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré.....	57
Figure 4.18	Température cutanée moyenne des sujets pour le facteur lavage durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré.....	58



## LISTE DES FIGURES (suite)

	<b>Page</b>
Figure 4.19 Température cutanée moyenne des sujets pour le facteur VIP durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré.....	58
Figure 4.20 Évolution de l'évaluation psychophysique des sujets pour le facteur lavage et le facteur VIP durant le test de marche de 20 minutes sur le tapis roulant en environnement tempéré.....	59
Figure 4.21 Évaluation psychophysique faite par les sujets pour le facteur lavage durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré .....	60
Figure 4.22 Évaluation psychophysique faite par les sujets pour le facteur VIP durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré .....	60
Figure 4.23 Température de la pièce, en environnement chaud pour le facteur lavage.....	62
Figure 4.24 Température de la pièce, en environnement chaud pour le facteur VIP .....	62
Figure 4.25 Humidité relative de la pièce, en environnement chaud pour le facteur lavage .....	62
Figure 4.26 Humidité relative de la pièce, en environnement chaud pour le facteur VIP .....	63
Figure 4.27 Représentation brute des résultats de la fréquence cardiaque pour les cinq sujets lors du test de marche sur tapis roulant en environnement chaud avec le port du VIP 1 .....	64
Figure 4.28 Évolution de la Fc dans le temps pour le test de marche sur tapis roulant en environnement chaud, Fc calculée à partir des droites de régression pour le facteur lavage .....	65
Figure 4.29 Évolution de la Fc dans le temps pour le test de marche sur tapis roulant en environnement chaud, Fc calculée à partir des droites de régression pour le facteur VIP .....	66
Figure 4.30 Évolution du CC dans le temps pour le test de marche sur tapis roulant en environnement chaud, CC calculé à partir des droites de régression pour le facteur VIP au temps 0 %, 20 %, 40 %, 60 %, 80 % et 100 % (* p < 0,05).....	68
Figure 4.31 Évolution du CC dans le temps pour le test de marche sur tapis roulant en environnement chaud, Fc estimé à partir des droites de régression pour le facteur VIP aux temps 0 %, 20 %, 40 %, 60 %, 80 % et 100 %.....	68
Figure 4.32 Évolution de la consommation d'oxygène moyenne des cinq sujets pour le facteur lavage et le facteur VIP durant le test de marche de 20 minutes sur le tapis roulant en environnement chaud .....	70
Figure 4.33 Évolution de la consommation d'oxygène moyenne du sujet 1 avec le VIP 4 neuf durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement chaud. ....	71
Figure 4.34 Consommation d'oxygène moyenne du sujet pour le facteur lavage durant le test de marche de 20 minutes sur le tapis roulant en environnement chaud .....	72
Figure 4.35 Consommation d'oxygène moyenne des sujets pour le facteur VIP durant le test de marche de 20 minutes sur le tapis roulant en environnement chaud .....	72
Figure 4.36 Évolution de la température cutanée moyenne des cinq sujets pour le facteur lavage et le facteur VIP durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement chaud .....	74
Figure 4.37 Température cutanée moyenne des sujets pour le facteur lavage à la 20e minute du test de marche sur tapis roulant en environnement chaud .....	75

## LISTE DES FIGURES (suite)

		<b>Page</b>
Figure 4.38	Température cutanée moyenne des sujets pour le facteur VIP durant le test de marche de vingt minutes sur le tapis roulant en environnement chaud .....	75
Figure 4.39	Évolution de l'évaluation psychophysique des sujets pour le facteur lavage et le facteur VIP durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement chaud .....	76
Figure 4.40	Évaluation psychophysique des sujets pour le facteur lavage durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement chaud .....	77
Figure 4.41	Distribution de l'évaluation psychophysique des sujets pour le facteur VIP durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement chaud .....	77
Figure 4.42	Évolution de la Fc pour les VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré .....	78
Figure 4.43	Distribution de la Fc en bpm des VIP 1-5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré pour le temps relatif 100 % .....	79
Figure 4.44	Évolution du CC pour les VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré .....	80
Figure 4.45	Distribution du CC en bpm des VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré pour le temps relatif 100 % .....	81
Figure 4.46	Évolution de la température cutanée pour les VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré .....	82
Figure 4.47	Distribution de la température cutanée en degré Celsius des VIP 1-5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré pour le temps relatif 100 % .....	83
Figure 4.48	Évolution de l'évaluation psychophysique sur l'échelle de Borg (6-20) des VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré .....	84
Figure 4.49	Distribution de l'évaluation psychophysique des VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré pour le temps relatif 100 % .....	85
Figure 4.50	Évolution de la Fc pour les VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement chaud .....	86
Figure 4.51	Distribution de la Fc en bpm des VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement chaud pour le temps relatif 100 % .....	87
Figure 4.52	Évolution du CC pour les VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement chaud .....	88
Figure 4.53	Distribution du CC en bpm des VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement chaud pour le temps relatif 100 % .....	89

## LISTE DES FIGURES (suite)

	<b>Page</b>
Figure 4.54 Évolution de la température cutanée pour les VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement chaud .....	90
Figure 4.55 Distribution de la température cutanée en degré Celsius des VIP 1-5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement chaud pour le temps relatif 100 % .....	90
Figure 4.56 Évolution de l'évaluation psychophysique sur l'échelle de Borg (6-20) des VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement chaud .....	91
Figure 4.57 Distribution de l'évaluation psychophysique pour les VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré pour le temps relatif 100 % .....	92
Figure 4.58 Distribution des différentes variables dépendantes durant le test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré et chaud. Valeurs tirées à partir des VIP 1 à 5 (lavés) .....	94
Figure 4.59 Comparaison entre les environnements tempéré et chaud à la fin des tests pour les différentes variables dépendantes : fréquence cardiaque, coût cardiaque, évaluation psychophysique, température cutanée et consommation d'oxygène .....	95
Figure 4.60 Pourcentages d'activation musculaire moyens du deltoïde antérieur en fonction du test de standardisation pour le facteur lavage durant le test de mobilité des membres supérieurs .....	97
Figure 4.61 Pourcentages d'activation musculaire moyens du deltoïde antérieur en fonction du test de standardisation pour le facteur VIP durant le test de mobilité des membres supérieurs .....	97
Figure 4.62 Pourcentages d'activation musculaire moyens du triceps en fonction du test de standardisation pour le facteur lavage durant le test de mobilité des membres supérieurs .....	99
Figure 4.63 Pourcentages d'activation musculaire moyens du triceps en fonction du test de standardisation pour le facteur VIP durant le test de mobilité des membres .....	99
Figure 4.64 Interaction entre les pourcentages d'utilisation musculaire moyens du triceps pour les facteurs VIP et lavage .....	100
Figure 4.65 Interaction entre les pourcentages d'utilisation musculaire moyens du deltoïde antérieur pour les facteurs VIP et lavage .....	100

## 1. INTRODUCTION

Les contraintes et les astreintes physiques et physiologiques auxquelles sont soumis les pompiers lors de leur travail ont fait l'objet de plusieurs études (Davis et Santa Maria, 1975 ; Lemon et Hermiston, 1977; Duncan, Gardner et Barnard, 1979; Davis, Dotson et Santa Maria, 1982; Sköldström, 1987 ; Faff et coll., 1989 ; Smith et coll., 1995; Smith et Petruzzello, 1998 ; Baker et coll., 2000 ; Cloutier et Champoux, 2000 ; Ftaiti et coll., 2001 ; Griefahn et coll., 2003). Certains de ces chercheurs s'entendent pour mentionner que le travail des pompiers est exigeant pour le système cardiorespiratoire, car il implique trois facteurs, soit le port d'un vêtement individuel de protection (VIP) qui préserve la chaleur, le port d'un appareil de respiration autonome (ARA) relativement lourd et des efforts physiques importants dans des conditions où la chaleur ambiante est très élevée. Ftaiti et coll. (2001) ajoutent même que les adaptations cardiovasculaires causées par le port d'un VIP peuvent avoir une influence sur les capacités physiques des pompiers et de ce fait, leur nuire lors d'une intervention où ils ont à sauver des vies. Davis et Santa Maria (1975) appuient ces propos en rapportant que l'encombrement et le poids de l'équipement et des VIP sont des facteurs qui réduisent l'efficacité des pompiers. Une autre étude dénote même que le poids de l'ARA peut être considéré comme un facteur de risques dans certaines conditions (Cloutier et Champoux, 2000). D'ailleurs, Barnard et Duncan (1975) ont quantifié la charge de travail des pompiers et ils ont ressorti plusieurs conclusions. En situation réelle de travail, les fréquences cardiaques (Fc) d'un pompier ont atteint 188 battements par minute (bpm) pour une période de 15 minutes. D'ailleurs lorsque ce pompier a combattu deux feux successifs, ses Fc sont demeurées au-dessus de 158 bpm durant 90 minutes, ce qui inclut la période à 188 bpm. Ces auteurs ajoutent qu'il est commun pour les pompiers d'avoir des Fc qui varient entre 175 et 195 bpm durant les 3 à 5 premières minutes d'un feu. Lusa et coll. (1991) se sont aussi attardés sur le travail de pompier. Pour ce faire, ils ont simulé des exercices de feux afin de mesurer les adaptations physiologiques. Ces exercices d'une durée moyenne de 17 minutes impliquaient en moyenne 60 % de la consommation maximale d'oxygène ( $VO_{2max}$ ) et 79 % des Fc maximales des pompiers. Les résultats démontrent aussi que les Fc maximales des sujets atteignent en moyenne 180 bpm ( $\pm 13$ ). Davis et Dotson (1987) rapportent eux aussi des résultats semblables, mais ils font seulement référence à la capacité aérobie. Selon leurs résultats, lorsque les pompiers travaillent, cette dernière est sollicitée entre 60 et 80 % de son maximum. Malgré toutes ces adaptations physiologiques dues aux caractéristiques des VIP, le port de ces derniers est obligatoire pour toutes les interventions afin d'assurer la sécurité des pompiers (Baker et coll., 2000; Ftaiti et coll., 2002).

L'objectif de cette étude est de documenter les avantages et les désavantages qu'entraîne le port de certains modèles de VIP et de les transmettre aux principaux corps de pompier de la province. Plus précisément, cette recherche s'inscrit dans une démarche exploratoire visant avant tout à réduire les contraintes causées par le port d'un VIP chez les pompiers du Québec. Elle devrait permettre de classer les différents VIP étudiés selon les critères retenus pour les tests, d'identifier les caractéristiques de conception qui permettent d'optimiser le confort et d'améliorer l'efficacité du travail des pompiers. Ces travaux serviront aussi à valider la capacité de discrimination de certains tests plus spécifiques au travail des pompiers (le test en environnement chaud). Les conditions utilisées permettront aussi de mesurer d'une façon objective, l'effet qu'entraîneront les lavages répétés sur le comportement des VIP étudiés.

Les limites de cette étude sont caractérisées par le fait qu'elle comptait un échantillon restreint de cinq pompiers professionnels qui provenaient uniquement de la ville de Montréal. Ce nombre avait été principalement retenu à cause des contraintes de disponibilité des pompiers et des coûts reliés à la disponibilité des VIP. De plus, l'étude n'était pas réalisée dans des situations réelles de travail, mais plutôt en laboratoire afin de standardiser la charge de travail. Ces précautions visaient à mesurer les caractéristiques des VIP et non l'influence des modifications environnementales sur les mesures acquises. L'étude ne comptait pas tous les VIP qui existent sur le marché, mais les modèles testés étaient ceux qui avaient été préalablement approuvés par la Ville de Montréal à la suite des tests effectués au centre de technologie textile (CTT). L'échantillon de VIP utilisés ne comportait que des modèles deux pièces.

## 2. REVUE DE LA LITTÉRATURE

Les différentes sections de cette revue résument les éléments de connaissance qui ont permis d'élaborer le protocole de la présente étude. Ce protocole devrait permettre une mesure fiable et valable des contraintes physiques associées au port des différents modèles de VIP étudiés.

### 2.1 Le travail des pompiers

Dans le cadre de leur travail, il arrive que les pompiers doivent mettre leur vie en péril en combattant le feu et ils ont donc besoin de se protéger. Pour ce faire, les pompiers portent un vêtement individuel de protection (VIP), des bottes, des gants, un casque, une cagoule et un appareil de respiration autonome (ARA). Ces équipements protègent, entre autres, du feu qui génère plusieurs polluants dans l'air comme du monoxyde de carbone, du benzène, du dioxyde de soufre, de l'hydrogène cyanure, de l'aldéhyde, de l'hydrogène chlorure, dichlorure de fluo méthane et des particules (Brandt-Rauf, Fallon, Tarantini, Idema et Andrews, 1988). Ces polluants jumelés aux contraintes de l'environnement de travail (ex. : chaleur, humidité, O<sub>2</sub> diminuée, CO<sub>2</sub> augmenté et les stress émotionnels) obligent les pompiers à effectuer plusieurs tâches (par exemple, monter des échelles aériennes, secourir des victimes, élever des échelles, tirer des tuyaux, enfoncer des portes, transporter des tuyaux, des échelles et du matériel de ventilation, etc.) avec le port d'un ARA (Lemon et Hermiston, 1977 ; Duncan, Gardner et Barnard, 1979 ; Davis, Dotson et Santa Maria, 1982). Toutefois, si ces tâches représentent la réalité lors de leurs interventions, les pompiers ne font pas que combattre le feu. La majeure partie du temps, lorsqu'ils sortent de la caserne, les pompiers effectuent d'autres tâches comme des interventions sur des accidents de la route, des sorties pour de fausses alarmes et des sauvetages (inondation, sauvetage nautique, etc.). Ces tâches impliquent des activités comme marcher, courir, pousser et soulever et toutes ces actions contribuent à augmenter la demande physiologique des pompiers (Baker et coll., 2000; Ftaiti et coll., 2001). Pour toutes ces situations, le port du VIP dans des conditions où la température ambiante est élevée impose aussi une contrainte physique importante. Il a été démontré que travailler en VIP à la chaleur impose une plus grande charge physique que de travailler à 15°C en tenue sportive. Cette augmentation est attribuable au poids de l'équipement (ARA et VIP) et aux propriétés imperméables des VIP (Sköldström, 1987). Une étude sur le poids des ARA démontre qu'une diminution de leur poids entraîne chez les pompiers une diminution des Fc, des températures rectales et de la perception psychophysique (Dahlbäck et Jorfelt, 1986).

Pour supporter toutes ces contraintes, les pompiers doivent posséder des aptitudes physiques qui leur permettent de répondre aux urgences que l'on retrouve dans leur travail (Baker et coll., 2000). À ce sujet, plusieurs études portant sur la problématique de la condition physique des pompiers ont formulé des recommandations sur les aptitudes physiques requises pour exercer ce métier. Selon leurs résultats, Barnard et Duncan (1975) ont recommandé que les pompiers aient une VO<sub>2</sub>max d'au moins 33 ml\*kg<sup>-1</sup>\*min<sup>-1</sup>. Plusieurs années après, une étude réalisée par l'Office des recommandations de la forme physique du Royaume-Uni sous la supervision de Scott et coll. (1989) est parvenue aux conclusions que les pompiers débutants devraient avoir une VO<sub>2</sub>max de 42 ml\*kg<sup>-1</sup>\*min<sup>-1</sup> lors de leur entrée en service et que tout au long de leur carrière,



les pompiers devraient avoir une  $VO_2\text{max}$  d'au moins  $35 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ . Un peu plus tard, les travaux de Sothmann et coll. (1992) ont confirmé qu'une  $VO_2\text{max}$  de  $42 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  était préférable. Pour leur part, Gledhill et Jamnik (1992) ont recommandé que les pompiers aient un niveau de condition physique plus élevé avec une  $VO_2\text{max}$  de  $45 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ .

Afin de comparer ces recommandations sur la condition physique des pompiers à celle de la population, il est important de connaître la condition physique de cette dernière. Selon le document de l'American College of Sport Medicine (2000) (ACSM), les personnes âgées de 30-39 ans ont une distribution de la consommation maximale d'oxygène qui se situe entre  $32,5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  (10<sup>e</sup> percentile) et  $50,4 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  (90<sup>e</sup> percentile).

Selon les recommandations des études citées précédemment, la forme physique des pompiers devrait donc se situer dans le 50<sup>e</sup> percentile ( $41 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) de la population en général.

À ce sujet, une étude menée auprès de 12 pompiers de North Wales, âgés de  $31,6 (\pm 1,3)$  ans, a révélé que la moyenne de la  $VO_2\text{max}$  sur tapis roulant de ce groupe était de  $50,3 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1} (\pm 1,2)$  (Baker et coll., 2000). Selon leur groupe d'âge, ces valeurs placent ces pompiers dans le 90<sup>e</sup> percentile de la population. Cette valeur a même été surpassée lors d'une étude menée par Lusa et coll. (1991) auprès de 35 pompiers âgés en moyenne de 22 ans. Les pompiers de cette étude avaient une  $VO_2\text{max}$  de  $52,4 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1} (\pm 5,2)$ . Skoldstrom (1987) avait lui aussi évalué la consommation maximale d'oxygène de huit pompiers âgés de 35 ans ( $\pm 3,8$ ). Cette évaluation réalisée sur un ergocycle a démontré des résultats de l'ordre de  $49,0 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1} (\pm 3,7)$ . Encore une fois, ces valeurs suggèrent que ces pompiers étaient en bonne condition physique en atteignant le niveau du 80<sup>e</sup> percentile.

Même si ces résultats démontrent que les pompiers de 40 ans et moins sont en excellente condition physique, il arrive qu'ils subissent des adaptations physiologiques qui peuvent devenir dangereuses pour leur santé lorsqu'ils répondent aux exigences de leurs tâches de travail (Griefahn et coll., 2003). Aux États-Unis, durant les années 1993 à 1997, 93 pompiers sont décédés en moyenne par année dans l'exercice de leur fonction. La cause principale de ces décès est l'infarctus du myocarde qui, selon l'année prise en considération, compte pour 34 à 51 % des décès (Washburn et coll., 1998). Cette statistique est expliquée par la forte demande exigée de la part du système cardiovasculaire pour combler la demande sanguine des muscles et de la peau. Ce système doit répondre à la charge de travail musculaire imposé par les activités physiques et aussi participer à la thermorégulation qui est engendrée par le travail à la chaleur (Smith et coll. 2001). Les risques pour la santé ont aussi été soulevés par d'autres auteurs qui ont fait ressortir des préoccupations sur l'âge des pompiers. En effet, les constatations faites par Cloutier et Champoux (2000) sur la charge mentale et physique qui est imposée aux pompiers leur ont permis de soulever un questionnement concernant la relation entre le vieillissement et l'exigence de la tâche pour les pompiers. Cette étude québécoise dénote que les tâches comportant de la coordination motrice ou une forte demande cardiorespiratoire sont les plus difficiles pour les pompiers âgés. La différence entre les charges de travail a d'ailleurs été mesurée dans une étude de Romet et Frim (1987). Cette étude a su démontrer à l'aide de feux simulés que les adaptations physiologiques des pompiers varient en fonction de la tâche qu'ils effectuent.

L'environnement dans lequel les pompiers travaillent est donc affecté par plusieurs facteurs, ce qui entraîne des changements au niveau cardiovasculaire et psychologique (Smith et coll., 2001). D'ailleurs, Cloutier et Champoux (2000) confirment que certains de ces facteurs sont davantage reliés aux domaines physiques et mentaux du travail comme un travail physique soutenu et exigeant de la précision, des modes opératoires rigides et la présence de plusieurs contraintes. Par contre, l'environnement de travail n'est pas le seul facteur qui augmente la charge de travail, cette dernière augmente aussi à cause des contraintes physiques qui sont ajoutées par le VIP et l'ARA porté par les pompiers (Sköldström, 1987).

## 2.2 Les études similaires

Certaines études antérieures ont tenté de quantifier la charge physiologique associée au port de différents modèles de VIP. Parmi ces études, celle de Ftaiti et coll. (2001) avait comme objectif de mesurer l'augmentation de la Fc et de la température tympanique pour cinq types de VIP (un en cuir et quatre synthétiques) sans le port de l'ARA. Pour connaître la consommation maximale d'oxygène, les sujets en tenue sportive devaient réaliser un prétest de course sur tapis roulant. Par la suite, l'étude consistait en un test de course de 15 minutes à une intensité de 70 % de la VO<sub>2</sub>max qui était précédé d'un échauffement de 9 minutes (3 périodes de 3 minutes). L'intensité désirée pour les tests a été obtenue à l'aide d'un tapis roulant avec une pente de 1 degré et une vitesse variant selon la condition physique du sujet (entre 12,7 et 13,3 km/h). La figure 2.1 présente l'évolution des Fc avec le port des cinq VIP ainsi que celles obtenues en tenue sportive. Pour les deux variables observées, les résultats ont démontré qu'il existait une différence significative entre le VIP de cuir et les 4 VIP synthétiques. Cette figure démontre aussi que le port d'un VIP augmente les Fc, et ce, peu importe sa composition. À l'aide de ces données sur la Fc et des données sur la température tympanique, les auteurs ont fait mentionner que les VIP J2 et J4 semblaient être moins exigeants, mais sans pouvoir appuyer cette nomination par une analyse statistique significative.

Une autre étude a aussi évalué la différence entre quatre VIP. Pour réaliser leur étude, Tattersall et Thomas (1985) ont utilisé une température ambiante de 25°C et une humidité relative de 50 %. Le test utilisé était un test de marche sur tapis roulant à 4,8 km/h de 40 minutes pendant lequel les sujets devaient porter une masse de 8 kg près de leur poitrine. Pour analyser cet exercice, les auteurs ont mesuré les Fc, la perte de sueur et la température tympanique et cutanée. Encore une fois ces auteurs n'ont trouvé aucune différence significative entre les VIP qui étaient tous composés de matériaux synthétiques. Ils ont seulement fait ressortir qu'un des VIP causait une plus grande augmentation de la température corporelle et des Fc. Ils mentionnent aussi que les adaptations physiologiques, du sujet le moins en forme, démontrent que le port d'un VIP lourd représente un risque pour la santé des pompiers en moins bonne condition physique.

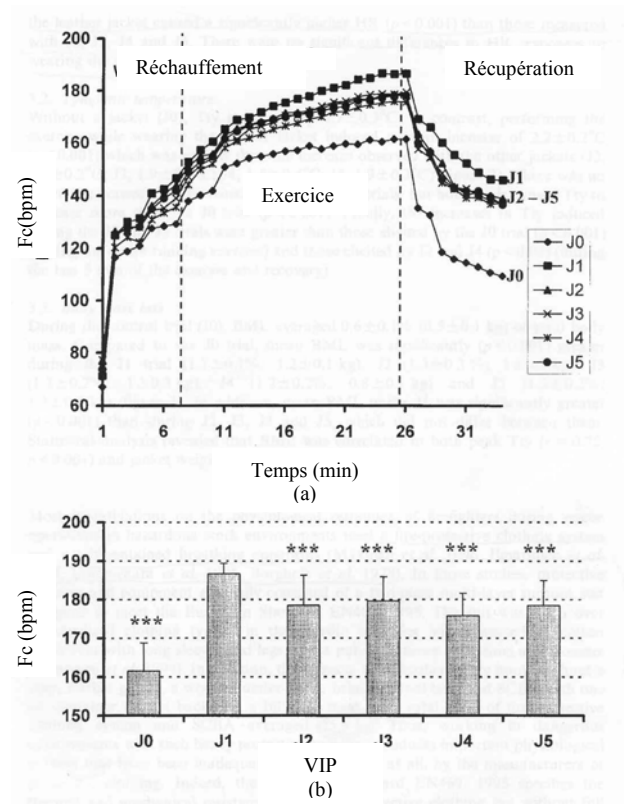


Figure 2.1 (a) Changement de la Fc de 6 pompiers durant une course de 15 minutes à 70 % du VO<sub>2</sub> max. J0 avec une tenue sportive, J1 à J5 les 5 VIP testés durant cette étude. L'exercice avec le J1 (VIP de cuir) a démontré une différence significative avec les autres VIP. (b) Moyennes des Fc mesurées à la fin (\*\*\*)  $p < 0,001$  comparé à J1). (Tirée de Ftaiti et coll., 2001).

De leur côté, Duncan, Gardner et Barnard (1979) ont comparé l'effet des VIP en environnement chaud (41,8°C) et en environnement frais (16,3°C). Ils ont aussi fait des tests en environnement frais (17,8°C) sans le port du VIP (uniforme standard des pompiers). Pour chacun de ces environnements, le test consistait à se déplacer sur un tapis roulant à une vitesse de 4 km/h avec une pente de 10 %. Les figures 2.2 et 2.3 présentent les résultats obtenus au niveau des Fc et de la température cutanée, respectivement.

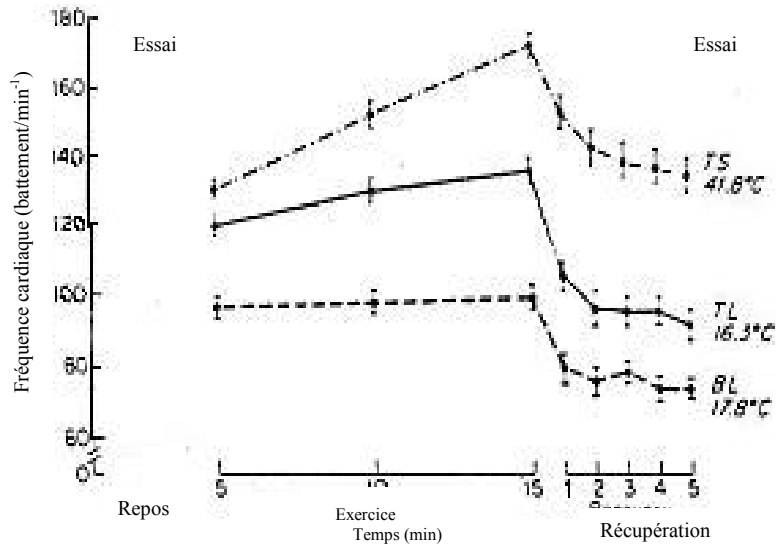


Figure 2.2 Fréquences cardiaques des pompiers lors d'un test en laboratoire SVIP (TL), en environnement tempéré avec VIP (BL) et dans un sauna avec VIP (TS). (Tirée de Duncan, Gardner et Barnard, 1979).

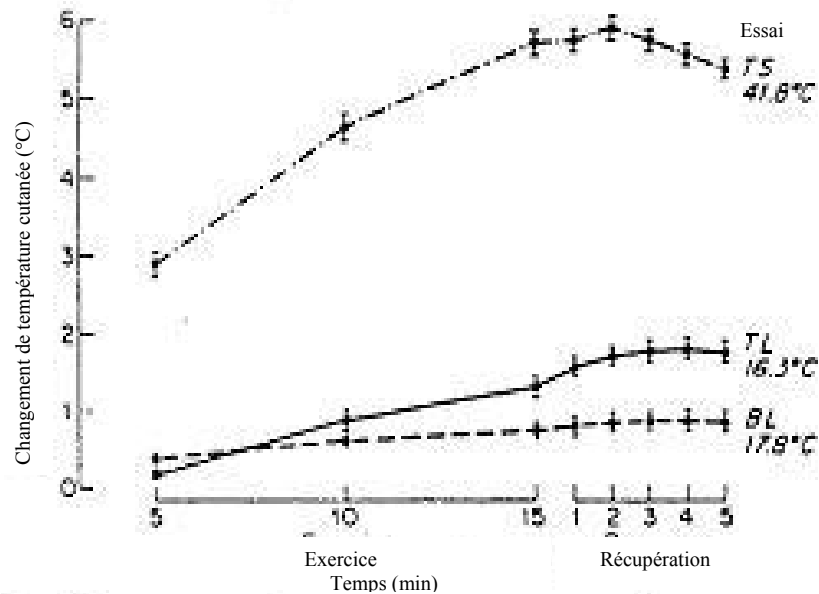


Figure 2.3 Température cutanée des pompiers lors d'un test en laboratoire SVIP (TL), en environnement tempéré avec VIP (BL) et dans un sauna avec VIP (TS). (Tirée de Duncan, Gardner et Barnard, 1979).

Ces résultats présentent une différence significative au niveau des Fc, et ce, entre les trois conditions. Au niveau de l'évaluation de la consommation d'oxygène mesurée pendant ces tests, aucune différence significative n'était présente entre environnement à 41,8°C et 16,3°C avec le port des VIP. Par contre, des différences significatives étaient observées entre la condition en

vêtements de travail standards et les conditions avec VIP. Les données obtenues au niveau de la température cutanée lors de ces expériences étaient significatives après la 10<sup>e</sup> minute. La conclusion de cette étude est que les VIP apportent une plus grande contrainte physiologique surtout lorsque l'effort se fait en environnement chaud.

Une autre étude a elle aussi évalué le coût physiologique de la marche avec un équipement de pompier complet. Lors de cette étude de Davis et Santa Maria (1975), les sujets devaient marcher sur un tapis roulant à une vitesse de 3,4 mph et une pente de 4 %. La durée des tests était de 6 minutes durant lesquelles les sujets avaient leur équipement de pompier. Par la suite, un repos de 30 minutes était accordé et le même test était répété en tenue sportive. Cette séquence était respectée pour la moitié des sujets après quoi, elle était inversée pour l'autre moitié. Les résultats de l'étude ont démontré que le port de l'équipement de pompier entraîne une augmentation de 27 % au niveau de la Fc, une augmentation de 33 % au niveau de la consommation d'oxygène et une augmentation de 33 % au niveau de la ventilation pulmonaire. Les auteurs proposent un lien intéressant, car l'augmentation de 28 % de la masse corporelle causée par le port de l'équipement de pompier est sensiblement de la même importance que celle obtenue pour les variables physiologiques.

L'influence de cette augmentation de la masse a été étudiée lors d'une autre étude. Cette étude proposait de démontrer, à l'aide de plusieurs variables physiologiques, les stress cardiovasculaires qui étaient associés au port de VIP en environnement chaud tout en contrôlant l'effet de l'ajout d'une charge additionnelle. Pour ce faire, Tack, Webb et Walsh (1984) ont ajouté le surplus de poids, que représentent les VIP, à leur uniforme standard. Pour ajouter ce surplus de poids, les sujets portaient une ceinture lestée du même poids que leur VIP. Les sujets devaient réaliser l'exercice, sur tapis roulant, à 4 km/h et 5 % de pente dans un environnement de 30°C (WBGT) et 50 % d'humidité relative. Selon leurs résultats, le port du VIP implique une augmentation de la Fc, une augmentation de la température cutanée, une augmentation de la température rectale et une diminution de la réserve cardiaque. De plus, ces modifications sont plus prononcées avec les sujets plus vieux. Selon ces auteurs, ces résultats prouvent que les stress cardiovasculaires associés au port du VIP sont indépendants de son poids et ils sont principalement engendrés par d'autres caractéristiques.

Outre les contraintes associées au VIP, Manning et Griggs (1983) ont évalué la performance des pompiers dans une simulation de feu pour mesurer l'impact de l'ARA (sans ARA, avec un ARA léger et avec un ARA lourd). Leurs résultats ont démontré que peu importe la condition dans laquelle les pompiers se situent, ils travaillent entre 85 et 100 % de leur Fc maximale. La différence ne se situe pas au niveau des Fc, mais plutôt dans la durée de l'exercice. Les auteurs affirment qu'en condition anaérobie, tous les bénéfices acquis par une diminution du poids de l'ARA se reflètent par l'augmentation de la vitesse d'exécution et une diminution en temps de la phase anaérobie. Ils recommandent donc d'évaluer la charge physiologique entraînée par les ARA durant des exercices aérobies.

Ces études ont toutes utilisé diverses méthodes (marche, course, simulation de feu, etc.) pour évaluer les contraintes physiologiques associées au port du VIP. Afin de connaître les contraintes physiologiques, ces auteurs ont évalué diverses variables (Fc, consommation d'oxygène,

température corporelle, etc.). D'ailleurs, les méthodes de prise de mesures et les variables évaluées seront présentées dans la suite de cette section.

### 2.3 La marche

Lors de la marche, la dépense énergétique varie entre autres en fonction de la vitesse de déplacement. La figure 2.4 présente des études qui ont été menées dans cinq pays et elle démontre la dépense énergétique des hommes lorsqu'ils marchent à des vitesses variables (McArdle, Katch et Katch, 2001).

Le coût énergétique de la marche est augmenté par certains facteurs tels que : le poids du sujet (2 kJ/kg\*min), le poids des chaussures, l'inclinaison du terrain, la nature du terrain et l'importance de la charge portée (Scherrer, 1981). Les figures 2.5 à 2.7 représentent trois de ces facteurs. La première figure (figure 2.5) montre la relation existante entre la masse corporelle et la consommation d'oxygène lors d'un exercice de marche vive sur un tapis roulant. Puisque pendant un effort physique, le métabolisme énergétique est influencé par le port d'une charge additionnelle qu'elle soit d'origine pondérale ou simplement associée au port d'une charge externe (McArdle, Katch et Katch, 2001).

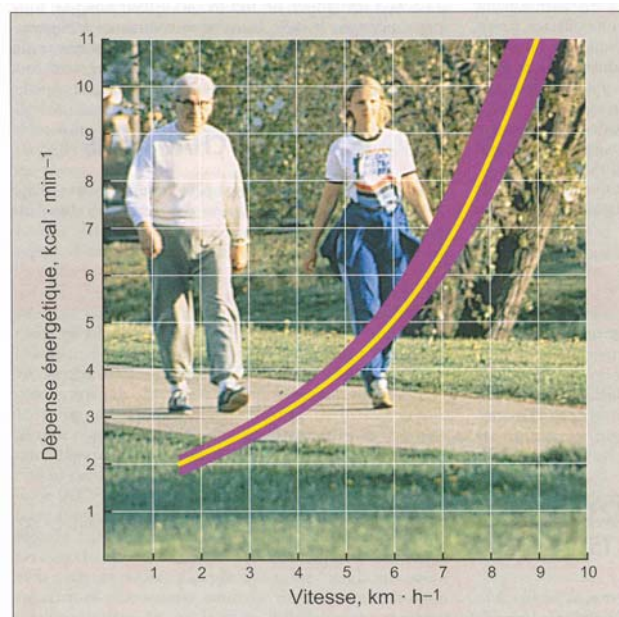


Figure 2.4 Dépense énergétique au cours d'un exercice de marche à différentes vitesses. (Tirée de McArdle, Katch et Katch, 2001).



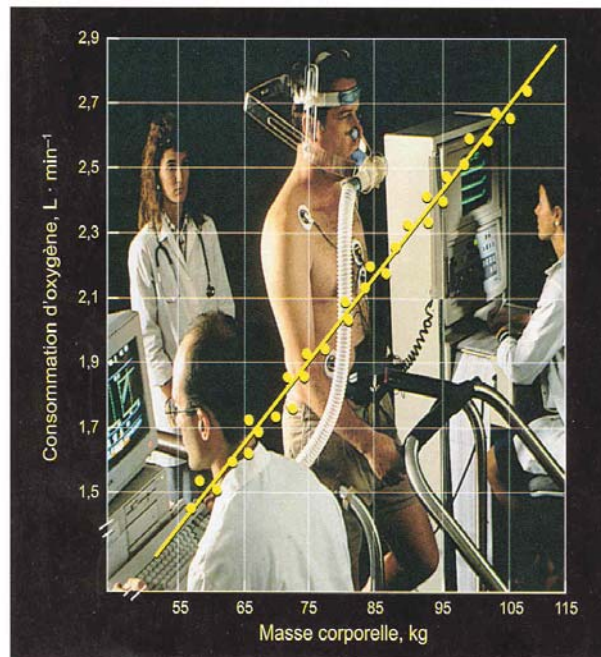


Figure 2.5 Relation entre la masse corporelle et la consommation d'oxygène mesurée au cours d'un exercice de marche vive sur tapis roulant. (Tirée de McArdle, Katch et Katch, 2001).

La figure 2.6 présente le comportement de la dépense énergétique au cours de la marche à différentes vitesses ainsi que l'influence de l'inclinaison de la pente (Scherrer, 1981). Cette figure démontre que l'intensité augmente en changeant la pente du tapis. Comme il a été mentionné, une autre façon d'augmenter la charge de travail consiste à hausser la masse que le sujet doit déplacer à l'aide d'une charge supplémentaire. Une charge qui est fixée aux pieds est plus coûteuse à transporter sur le plan énergétique que si elle est fixée au tronc. L'ajout d'une charge représentant 1,4 % de la masse corporelle fait augmenter le coût énergétique de 8 % lorsqu'elle est fixée aux chevilles. Cette augmentation est 6 fois moins élevée lorsqu'elle est fixée au tronc (McArdle, Katch et Katch, 2001). Durant une course d'intensité modérée, l'ajout de 100g à chacun des pieds implique une augmentation de la consommation d'oxygène de 1 % (McArdle, Katch et Katch, 2001). La figure 2.7 représente l'influence du poids des chaussures (Scherrer, 1981). Sur cette dernière, on remarque à une certaine vitesse que plus le poids de la chaussure est élevé, plus la dépense énergétique est élevée. La plus faible dépense s'observe entre 60 et 80 m/min (3,6 à 4,8km/h) et la vitesse favorable diminue lorsque le poids de la chaussure augmente (Scherrer, 1981).

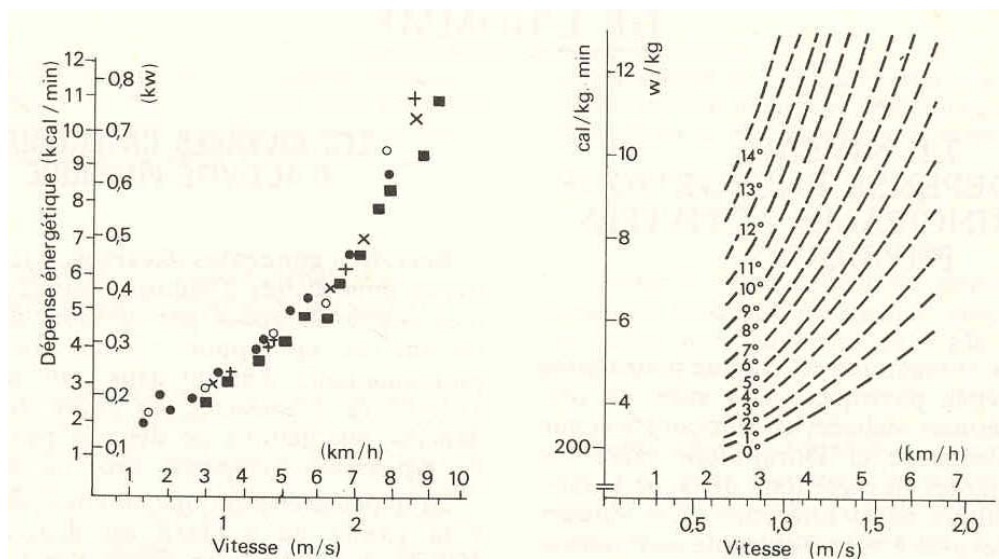


Figure 2.6 Dépense énergétique au cours de la marche sur tapis roulant. À gauche : la dépense énergétique en fonction de la vitesse. À droite : la dépense énergétique en fonction de la vitesse et de la pente du tapis roulant. (Tirée de Scherrer, 1981).

Bien que la marche soit encore possible à des vitesses élevées, c'est à partir d'une vitesse entre 8 et 9 km/h que le coût énergétique de la marche devient plus élevé que celui de la course. La figure 2.8 présente la zone de vitesse à partir de laquelle la consommation d'oxygène associée à la marche devient plus coûteuse que celle à la course. Cette figure démontre aussi qu'entre 3 et 6,5 km/h, la dépense énergétique au cours de la marche croît de façon linéaire avec la vitesse. Au-dessus de 6,5 km/h, la dépense énergétique croît comme le carré de la vitesse (McArdle, Katch et Katch, 2001).

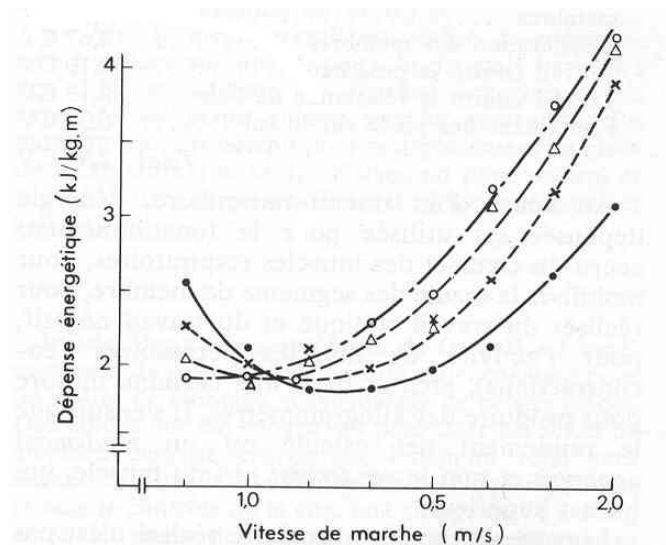


Figure 2.7 Vitesse optimale de la marche. La dépense énergétique est représentée en fonction de la vitesse de marche, pour quatre conditions expérimentales : pieds nus (●), chaussures de 800g (x), chaussures de 1300g (Δ), chaussures de 1800g (o). (Tirée de Scherrer, 1981).

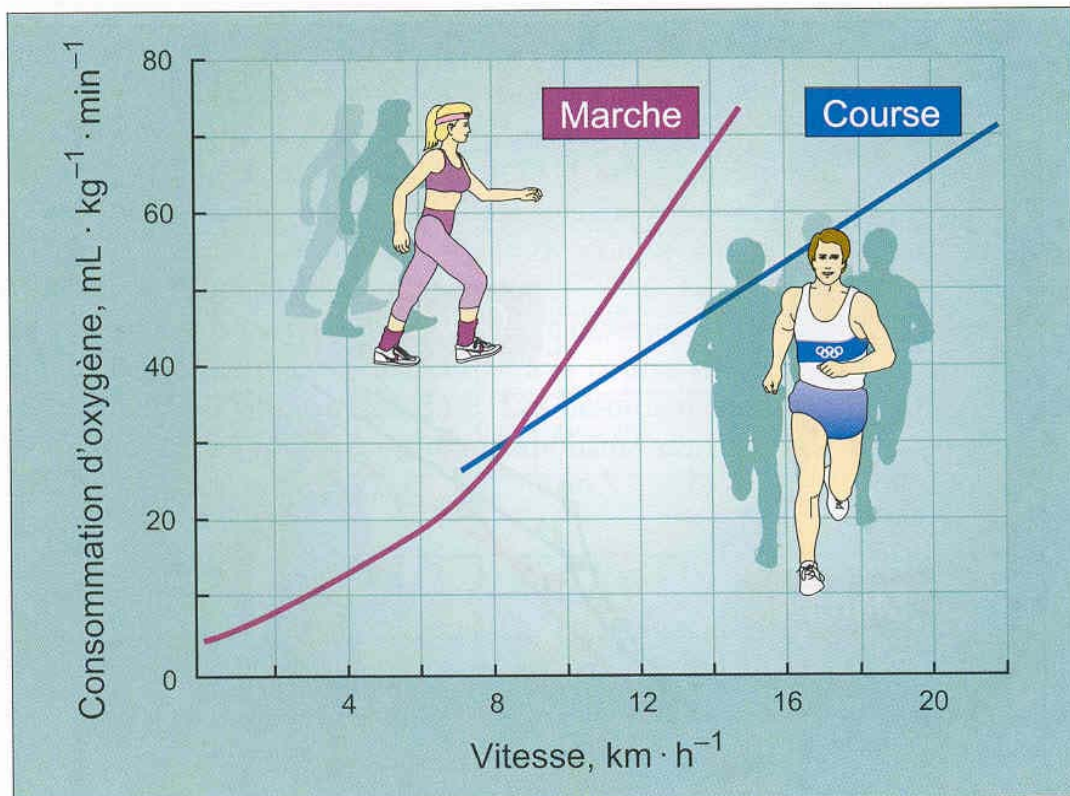


Figure 2.8 Relation entre la consommation d'oxygène et la vitesse de marche et de course chez des marcheurs de compétition sur tapis roulant. (Tirée de McArdle, Katch et Katch, 2001).

## 2.4 Mesure de la consommation d'oxygène (VO<sub>2</sub>)

La consommation maximale d'oxygène (VO<sub>2</sub>max) à laquelle se réfère la figure 2.8 est une indication quantitative sur la capacité d'un sujet à resynthétiser de l'ATP en aérobose. Elle est donc un bon indice pour déterminer la capacité d'un sujet à soutenir un effort intense pendant plus de 4 à 5 minutes (McArdle, Katch et Katch, 2001). Selon plusieurs physiologistes, le test de VO<sub>2</sub>max est considéré comme le meilleur index de la capacité d'endurance cardiorespiratoire (Wilmore et Costill, 2002). Ceci se réfère au fait qu'un test de VO<sub>2</sub>max représente la consommation maximale d'oxygène que l'organisme peut consommer en une minute et même si on augmente l'intensité de l'activité, la consommation d'oxygène n'augmente pas et elle stagne en plateau. Il s'agit donc de l'intensité la plus élevée à atteindre en utilisant essentiellement les processus métaboliques aérobie (Wilmore et Costill, 2002; McArdle, Katch et Katch, 2001).

Lors d'un exercice à une intensité constante sur un ergocycle, la consommation d'oxygène augmente pour atteindre un état d'équilibre après 1 à 2 minutes (Wilmore et Costill, 2002). Après ce temps, le plateau qui est atteint par la consommation d'oxygène représente le coût énergétique qui correspond à l'intensité demandée (Wilmore et Costill, 2002). Une courbe semblable, mais pour un exercice de course à pied, est présentée sur la figure 2.9.

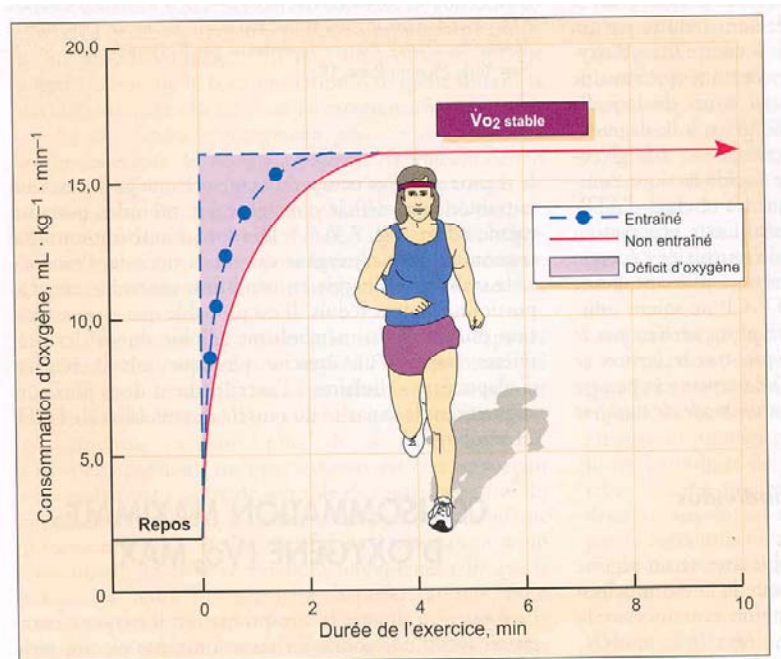


Figure 2.9 Évolution de la consommation d'oxygène au cours d'un jogging à faible vitesse chez des individus entraînés à l'endurance et non entraînés qui consomment la même quantité d'oxygène. (Tirée de McArdle, Katch et Katch, 2001).

La figure 2.9 montre que lors d'un exercice sous-maximal constant, la consommation d'oxygène augmente exponentiellement durant les premières minutes de l'exercice pour ensuite atteindre un plateau vers la troisième ou la quatrième minute. Ce plateau sur la courbe représente l'état stable (ou régime stable) ainsi que la consommation d'oxygène nécessaire pour cet effort. Lorsqu'un

sujet atteint cet état stable, l'accumulation d'acide lactique est minimale et, théoriquement, l'effort pourrait être prolongé indéfiniment selon la volonté de la personne (McArdle, Katch et Katch, 2001).

Par contre, selon des études plus récentes, lorsque l'effort est supérieur au seuil anaérobie, la consommation d'oxygène continue d'augmenter après l'état stable. On appelle cette augmentation, la composante lente de la cinétique de la  $VO_2$ . Durant l'effort, si le métabolisme aérobie n'a pas atteint de plateau, c'est que le métabolisme anaérobie a produit de l'énergie, car les besoins de l'effort sont supérieurs à la consommation maximale d'oxygène, la concentration sanguine de lactate augmente et la récupération sera plus longue (McArdle, Katch et Katch, 2001). Geasser et Poole (1996) justifient cette augmentation par une hausse du coût énergétique qui résulte de l'accroissement de la ventilation, de l'utilisation progressive des glucides plutôt que des lipides et de l'élévation de la température corporelle. Une autre étude de Basrtow et coll. (1996) attribue plutôt cette augmentation de la consommation d'oxygène au recrutement de plus en plus important des fibres musculaire à contraction rapides. Un autre élément peut apparaître dans le processus de la consommation d'oxygène, soit la dérive de la  $VO_2$ . Lors d'un exercice prolongé, sous-maximal et de puissance constante, la dérive se définit comme l'augmentation lente de la  $VO_2$  observée avec le temps. Cet exercice peut aussi se situer sous les seuils lactiques (Wilmore et Costill, 2002).

## 2.5 Les fréquences cardiaques (Fc)

La Fc est le travail que le cœur doit fournir afin de répondre aux besoins qui sont demandés par l'activité ou le repos. La fonction principale des Fc est d'augmenter le débit cardiaque afin de répondre aux besoins en oxygène des muscles actifs (Wilmore et Costill, 2002). La figure 2.10 démontre très bien le rôle de la Fc dans le volume d'oxygène consommé.



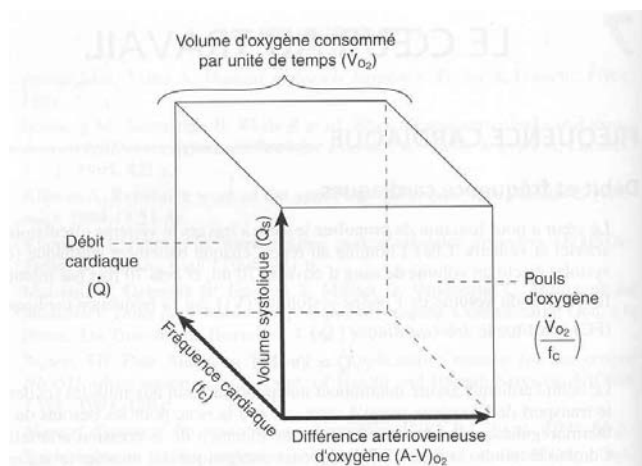


Figure 2.10 Fréquence cardiaque et métabolisme. L'intensité des échanges énergétiques est représentée sous forme d'un cube dont les trois arêtes sont respectivement le volume d'éjection systolique, la fréquence cardiaque et la différence artérioveineuse d'oxygène. Le débit cardiaque est le produit de la fréquence cardiaque par le volume d'éjection systolique ; le volume d'oxygène consommé par unité de temps est égal au produit du pouls d'oxygène par la fréquence cardiaque ou la différence artérioveineuse d'oxygène par le débit cardiaque. (Tirée de Monod et Kapitaniak, 1999).

Dans la littérature, on retrouve l'existence d'une relation linéaire entre la  $F_c$  et la consommation d'oxygène (voir la figure 2.11) lors d'un exercice modéré à relativement intense (McArdle, Katch et Katch, 2001). Par contre, cette relation linéaire présente pour tous les sujets varie selon les aptitudes de chacun d'eux. Sur la figure 2.11, la consommation maximale d'oxygène est représentée pour deux sujets. Celle-ci démontre que les deux sujets n'ont pas les mêmes  $F_c$  pour des niveaux de consommation d'oxygène identiques, car les  $F_c$  du sujet B sont moins élevées. De plus, la pente des courbes démontre que la consommation maximale d'oxygène du sujet B est supérieure à celle du sujet A. Malgré cette relation linéaire entre la  $F_c$  et la consommation d'oxygène, la consommation maximale d'oxygène est propre à chaque sujet.



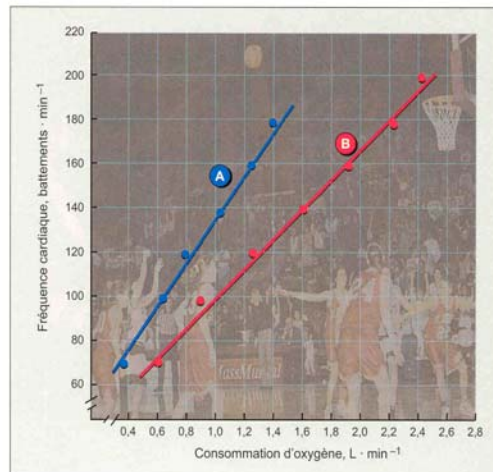


Figure 2.11 Relation linéaire entre la fréquence cardiaque et la consommation d'oxygène de deux joueurs de Basket-ball de niveau collégial au cours d'un exercice de course sur tapis roulant. (Tirée de McArdle, Katch et Katch, 2001).

Maud et Foster (1995) confirment que la consommation d'oxygène varie selon les sujets, mais ils ajoutent que Maritz et coll. (1961) ont démontré que les valeurs maximales de la Fc sont atteintes avant celles de la VO<sub>2</sub>. Les Fc et la VO<sub>2</sub>max sont liées mathématiquement, peu importe la condition physique de la personne, son âge et son sexe, mais d'après ces auteurs, c'est une relation linéaire qu'on retrouve et non des équivalences. Le tableau 2.1 présente cette relation et il fait état des pourcentages de la Fc qui correspondent avec les pourcentages de la VO<sub>2</sub>max. À l'aide des données de ce tableau, il est possible de faire le lien entre la Fc cible et le pourcentage de VO<sub>2</sub>max désiré. Tout comme pour la VO<sub>2</sub>max, la Fc va atteindre un plateau très rapidement après le début de l'exercice. Ce plateau correspond à la Fc répondant aux besoins de l'activité physique (Wilmore et Costill, 2002).

La Fc a l'avantage d'être une mesure très facile à prendre (Wilmore et Costill, 2002). De ce fait, la Fc bénéficie d'un double avantage, car outre sa facilité à être mesurée, elle est représentative de la consommation d'oxygène. Les propos tirés de Monod et Kapitaniak (1999) confirment ces énoncés :

« ... seule la fréquence cardiaque est aisément mesurable. C'est la raison pour laquelle sa mesure a supplanté celle de la consommation d'oxygène pour l'appréciation de la dépense énergétique chez l'homme. »

Tableau 2.11 Relation entre le pourcentage du VO<sub>2</sub> max et le pourcentage de la fréquence cardiaque maximale (Tiré de McArdle, Katch et Katch, 2001)

Pourcentage de la fréquence cardiaque maximale	Pourcentage du VO <sub>2</sub> max
50	28
60	40
70	58
80	70
90	83
100	100

Afin d’avoir une idée plus précise de la pénibilité de la tâche, il est possible de calculer le coût cardiaque (CC) qui est décrit par Scherrer (1981) comme suit :

« Le coût cardiaque, terme proposé par Brouha par analogie avec celui de coût énergétique, exprime le travail supplémentaire que doit effectuer le cœur au cours d’un exercice, que ce travail corresponde ou non à une dépense d’énergie. Le coût cardiaque de travail est égal au nombre des pulsations comptées au-dessus du niveau de repos entre le début et la fin du travail musculaire... »

Cette mesure est plus représentative de la charge de travail que la fréquence maximale, car elle prend aussi en considération la Fc de repos du sujet. Par contre, la Fc maximale (coût cardiaque au-dessus de zéro) possède un avantage sur le CC puisqu’elle élimine la contrainte d’avoir à mesurer la Fc de repos (Brouha, 1960). La figure 2.12 montre une représentation schématique qui comprend le CC en plus de présenter le coût cardiaque relatif (CCR). Le CCR est moins adapté pour évaluer le travail supplémentaire puisqu’il tient compte de la Fc maximale des sujets. Cette mesure est exprimée en pourcentage et elle est affectée par l’âge des sujets. Pour connaître la charge supplémentaire d’une tâche, il est préférable d’utiliser le CC, car ce dernier exprime seulement le travail au-dessus de la Fc de repos. Sur la figure 2.12, le CC est identifié par Fc.

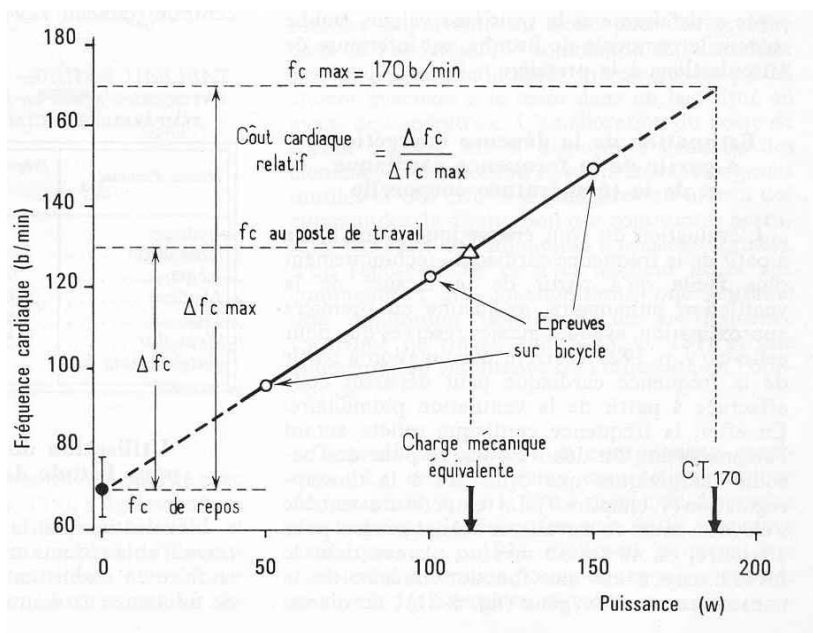


Figure 2.12 Le coût cardiaque relatif. Le calcul de celui-ci se fait en tenant compte : (1) des valeurs de fréquence cardiaque mesurée au cours de trois épreuves sur bicycle (o) et au cours du poste de travail étudié ( $\Delta$ ); (2) d'une fréquence cardiaque maximale théorique de 170 bpm ; (3) de la fréquence cardiaque de repos mesurée ou extrapolée ( $\bullet$ ). Une marge de variation de cette dernière a été représentée. (Tirée de Scherrer, 1981).

Afin d'obtenir le coût cardiaque, il est important de connaître la Fc de repos du sujet, car elle varie en fonction des sujets. Dans la population en général, la Fc de repos est d'environ 60-80 bpm. À une extrémité, il y a les athlètes qui peuvent avoir une Fc de repos de 28 à 40 bpm et à l'autre, les sujets sédentaires peuvent avoir une Fc de repos aux alentours de 100 bpm (Wilmore et Costill, 2002). Outre les différences au niveau de la condition physique, la Fc de repos varie en fonction de plusieurs facteurs. Par exemple, la position influence la Fc de repos. Cette dernière est 10 % plus élevée en position assise que couchée et elle est 5 à 15 % plus élevée en position debout qu'en position assise (Monod et Kapitaniak, 1999). De plus, la Fc peut aussi être influencée par la prise d'un repas, car ce dernier peut faire augmenter la Fc de 10 à 12 bpm dans les deux heures qui le suivent (Monod et Kapitaniak, 1999). Finalement, la température ambiante a elle aussi une influence sur la Fc. Il est donc important de prendre en considération que la Fc ne représente pas seulement le coût énergétique de l'activité, elle prend aussi en compte les réactions de l'organisme face aux émotions, aux agressions de diverses natures et les variations de l'ambiance physique (Scherrer, 1981).

## 2.6 La température ambiante et corporelle

Tout comme un corps inerte, la température corporelle est influencée par quatre facteurs (convection, conduction, évaporation et rayonnement) qu'on appelle les voies d'échanges thermiques (Monod et Kapitaniak, 1999). La figure 2.13 présente un schéma de la relation qu'ont ces quatre voies d'échanges thermiques du corps humain avec son environnement.

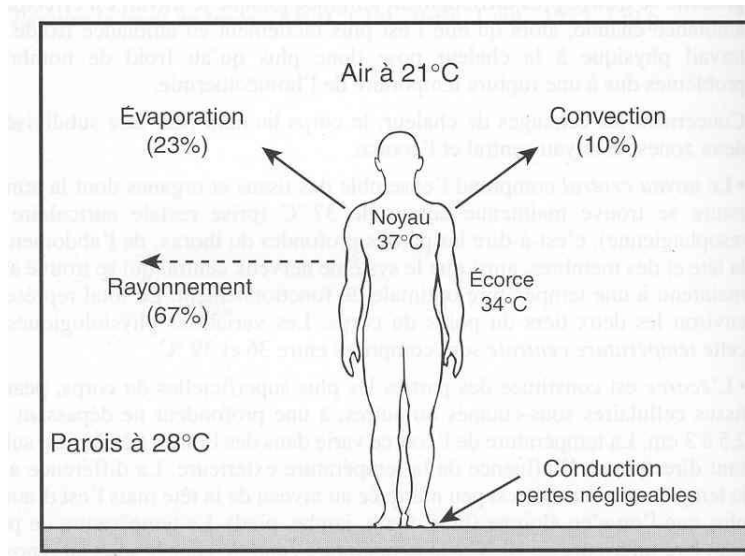


Figure 2.13 Voies des échanges de chaleur entre le corps humain et l'ambiance. Exemple concernant un homme dans une pièce à 21°C. La répartition des pertes est indiquée pour chacune des voies. (Tirée de Monod et Kapitaniak, 1999).

Voici une brève description des quatre voies d'échanges thermiques selon Monod et Kapitaniak (1999) :

La conduction : « La conduction est le transfert de chaleur de proche en proche du plus chaud vers le plus froid à l'intérieur d'un corps solide ou entre deux corps solides en contact. »

La convection : « La convection est un transfert de chaleur entre un corps solide et un fluide (liquide ou gazeux) en contact. »

Le rayonnement : « Les échanges par rayonnement thermique résultent de l'émission de la réception d'ondes électromagnétiques émises notamment dans une bande infrarouge (mais non exclusivement) entre deux corps solides, sans échauffement de l'air ambiant qui les sépare. »

L'évaporation : « Le passage d'un gramme d'eau de l'état liquide à l'état gazeux entraîne une perte de chaleur de 2,5 kJ. » Au niveau de la peau, l'organisme dispose de deux processus évaporatoires, la sudation et la perspiration cutanée insensible. Scherrer (1981) précise que l'évaporation transporte la chaleur latente et elle représente presque toujours une perte de chaleur pour l'organisme. Il ajoute que l'évaporation se fait au niveau de la respiration et de la peau.

Wilmore et Costill (2002) relatent que lors d'une activité en ambiance chaude où la température dépasse celle de la peau, le rayonnement, la convection et la conduction deviennent des facteurs

de gain de chaleur. Pour le pompier, Ftaiti et coll. (2001) soulèvent aussi le point que l'efficacité de la thermorégulation dépend du transfert de chaleur entre la peau, les vêtements et l'air ambiant; ce transfert étant influencé par la convection, la conduction, le rayonnement et l'évaporation. Or, dans des conditions de feu, la convection, la conduction et le rayonnement sont des sources de chaleur. En plus de ces sources de chaleur qui sont influencées par le feu, la température corporelle du pompier est influencée par la chaleur interne produite par son métabolisme (Sköldström, 1987). Smith et coll. (2001) précisent que la température corporelle du pompier est influencée par les trois facteurs suivants, la chaleur métabolique produite par le travail musculaire, la chaleur provenant du rayonnement de la chaleur ambiante et le port d'un VIP lourd, isolant et non perméable qui ajoute une charge supplémentaire au travail métabolique qui est demandé en plus de garder la chaleur à l'intérieur du VIP. Afin de diminuer la température corporelle dans de telles conditions, l'organisme n'a plus que l'évaporation sudorale pour perdre de la chaleur. C'est l'augmentation de la Fc qui va combler ce besoin de thermorégulation du corps à laquelle s'ajoutent les besoins physiologiques demandés par l'effort (Wilmore et Costill, 2002). Dans cette situation, le débit sanguin cutané doit être augmenté pour faciliter les pertes de chaleur par l'évaporation de la sueur, ce qui réduit la circulation sanguine dirigée vers les muscles, car cette augmentation du débit sanguin cutané a pour effet de diminuer le retour veineux. Cette situation entraîne du même coup une réduction du volume d'éjection systolique. Une compensation peut être effectuée par la dérive cardiovasculaire en augmentant la Fc. Par contre, cette compensation a certaines limites et le débit cardiaque deviendra insuffisant. Il est important de mentionner que c'est toujours les processus de thermorégulation qui ont priorité afin de protéger l'organisme aux dépens des performances (Wilmore et Costill, 2002). Lors de travaux sur l'impact d'un travail en ambiance chaude, Brouha (1963) a démontré que la température ambiante et le taux d'humidité influencent la Fc sans nécessairement augmenter la consommation d'oxygène. Selon les résultats présentés à la figure 2.14, l'exercice en ambiance chaude et humide augmente la Fc d'un intervalle à l'autre alors que la consommation d'oxygène demeure stable. Pour la condition tempérée, l'amplitude de la contrainte physiologique semble demeurer stable pour les deux variables.

Dans une étude subséquente, Sköldström (1987) a démontré la même chose chez les pompiers munis d'un VIP et d'un ARA. Lors d'un exercice de 60 minutes à 3,5 km/h, la température ambiante n'a pas d'effet sur la consommation d'oxygène de ces derniers, mais elle en a un sur leur Fc. Dans la même étude, il a aussi démontré que l'élévation de la température ambiante augmente le rythme cardiaque des pompiers, et ce, malgré le port ou non de l'équipement.

L'effet de la température ambiante (ce qui inclut les variations de la température à l'intérieur d'un vêtement) a aussi été évalué à partir de la mesure de la température corporelle chez les pompiers (Baker, Scruggs et Pahsarn, 1998). Lors de cette étude, les sujets devaient mettre le VIP pour ensuite suivre le protocole de l'étude. Le déroulement se répartissait comme suit : 15 minutes de pause, 20 minutes d'exercice, 30 minutes de pause, 20 minutes d'exercice et 30 minutes de pause. Les périodes d'exercice constituaient une marche sur tapis roulant à 2.5 mph avec une pente de 2 %. Dans cette étude, la température corporelle augmentait lorsque le sujet mettait le VIP et qu'il se reposait. Par la suite, elle augmentait de nouveau durant les phases d'exercice et elle diminuait durant les pauses.

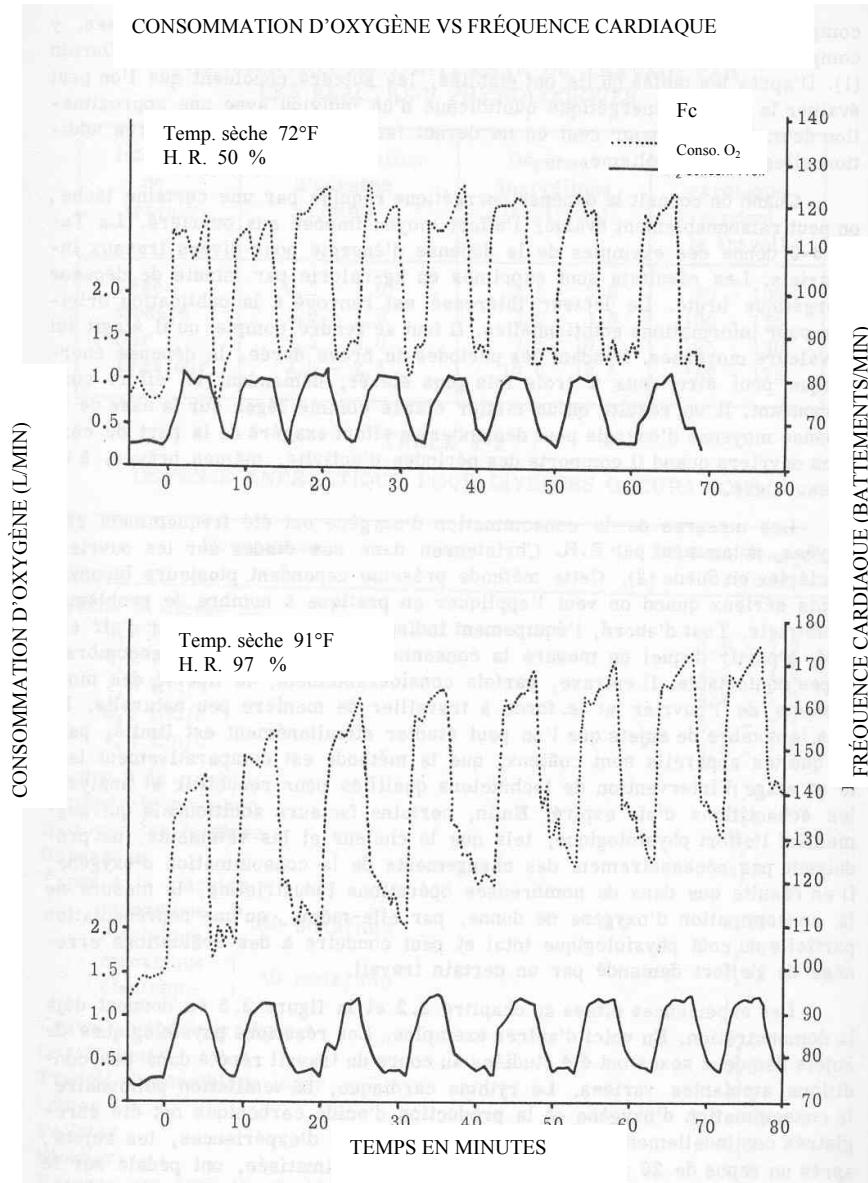


Figure 2.14 Courbes de la consommation d’oxygène et du rythme cardiaque au cours de cycles répétés. Travail de cinq minutes sur bicyclette ergométrique. Pause assez longue pour que la consommation d’oxygène revienne à son niveau de repos. (Tirée de Brouha, 1963.)

De leur côté, Ftaiti et coll. (2001) ont eux aussi fait la preuve que le port d’un VIP augmente la température tympanique. La figure 2.15 représente les résultats obtenus lors de cette étude. Selon celle-ci, le port d’un short lors d’un exercice de course à 70 % de la  $VO_2$ max cause une élévation moins importante de la température tympanique que le port d’un des 5 VIP. En résumé, ces études confirment que la température ambiante, et particulièrement celle modifiée par le port d’un vêtement isolant, influence les processus de thermorégulation au repos et à l’effort.

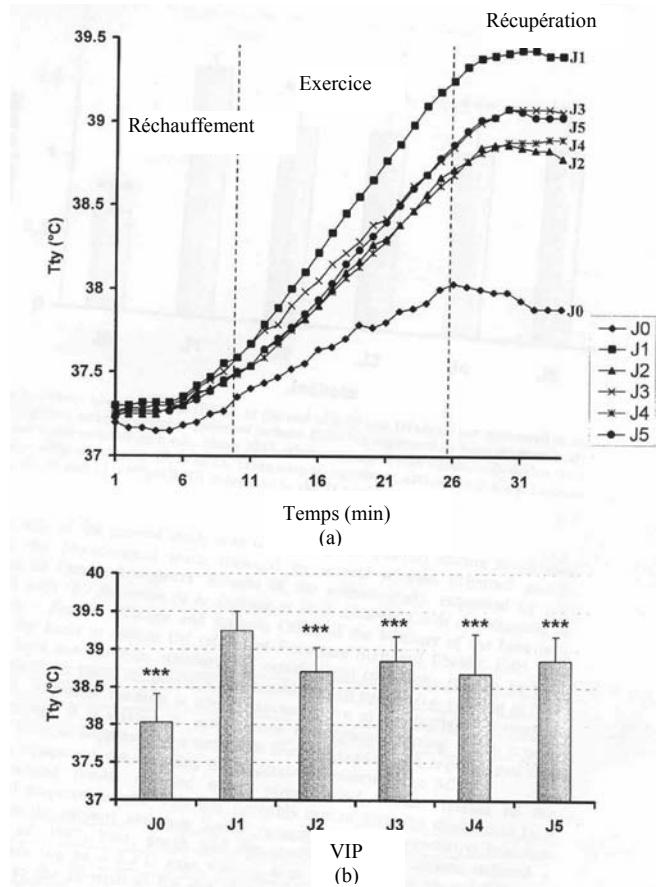


Figure 2.15 (a) Changement de la température tympanique de six pompiers durant l'exercice. J2 et J4 ont apporté une hausse de la température tympanique plus faible. (b) Moyennes des températures tympaniques FC mesurées à la fin des tests avec (J1 à J5) et SVIP (J0) (\*\*\*)  $p < 0,001$  comparé à J1). (Tirée de Ftaiti et al., 2001).

## 2.7 Le taux d'humidité

Les échanges de chaleur par évaporation se font en fonction de la différence entre la pression partielle de vapeur d'eau au niveau de la peau et celle de l'air ambiant. Toutefois, selon la température, l'air ne peut contenir qu'une certaine quantité de vapeur d'eau et au-dessus de cette valeur, l'eau se condense (Scherrer, 1981). Par contre, plus la température sera élevée, plus l'air pourra contenir une grande quantité de vapeur d'eau. C'est cette quantité dans l'air qui désigne le degré d'humidité. Avec un degré hygrométrique élevé, le milieu ambiant est presque saturé d'eau. Cette situation affecte l'évaporation sudorale car la sueur demeure sur le sujet. Cela explique pourquoi le travail en ambiance sèche va favoriser l'évaporation et contribuer plus efficacement à la régulation thermique.

Comme il a été démontré, l'évaporation de la sueur est l'outil majeur de l'organisme permettant de transférer la chaleur vers le milieu ambiant (Wilmore et Costill, 2002). Lors d'un test de 60 minutes sur tapis roulant à 3,5 km/h réalisé en ambiance chaude (45°C), il a été démontré que



le VIP nuit à l'évaporation de la sueur qui demeure à l'intérieur du VIP (Sköldström, 1987). En effet, la mesure pondérale de l'équipement de pompier avant et après l'effort physique a obtenu une hausse moyenne du poids de 674g. Pour la condition sans équipement, le poids des vêtements a augmenté de 84g. Ces données appuient le fait que la sueur ne s'évapore pas bien dans l'air ambiant. Elle semble plutôt demeurée dans les vêtements. Lorsque les processus de thermorégulation sont diminués par le manque d'évaporation, la demande cardiovasculaire est augmentée par les processus suivants : la sudation excessive, la dilatation des vaisseaux sanguins cutanés et la demande sanguine musculaire (Smith et coll. 2001). Sur ce point, les causes reliant le port des VIP à la mauvaise évaporation de la sueur ont déjà été justifiées dans une étude où l'on dénote une interaction entre l'humidité à l'intérieur du costume et la respiration de ce dernier (Baker et coll., 1998). Ces résultats laissent entrevoir que des nouveaux matériaux vestimentaires plus perméables à l'humidité produite par le corps pourraient apporter une amélioration de l'évaporation de la sueur chez les pompiers et contribuer ainsi, à réduire la demande physiologique.

## 2.8 La fatigue et la déshydratation

Après un exercice, il y a une récupération au niveau de la consommation d'oxygène pour combler la dette d'oxygène qui est créée au début de l'exercice. Immédiatement après l'exercice, la consommation d'oxygène de récupération baisse rapidement pour ensuite diminuer progressivement vers la valeur de repos. Après un exercice léger, la consommation d'oxygène suit une courbe logarithmique pendant la récupération qui baisse de 50 % toutes les 30 secondes. Pour ce qui est des exercices modérés à intenses, la récupération est plus longue. La figure 2.16 présente les courbes de récupération pour des exercices léger, modéré, intense et maximal. La dette en oxygène créée au début de l'exercice est payée à la fin de ce dernier pendant la récupération. Cette figure démontre bien que l'intensité de l'exercice a une influence sur la récupération; plus l'exercice est intense, plus la récupération est longue.



Figure 2.16 Consommation d'oxygène durant et au cours de la récupération suivant un exercice léger (A), un exercice modéré à intense (B) et un exercice intense qui n'a pas permis au métabolisme aérobie de se stabiliser. La phase initiale de la récupération est rapide; la phase subséquente, plus lente, peut-être passablement longue avant que la consommation d'oxygène ne revienne au niveau préexercice. Au cours de l'exercice intense, le besoin d'oxygène est supérieur à la consommation d'oxygène. (Tirée de McArdle, Katch et Katch, 2001).

Au niveau des indices de la récupération, le temps qui est nécessaire pour retourner à la Fc de repos dépend de la condition physique du sujet. Habituellement, les sujets en bonne condition physique retournent plus vite à leur Fc de repos. Certains facteurs comme la chaleur, l'altitude et l'hyperactivité sympathique augmentent le délai de récupération (Wilmore et Costill, 2002). La Fc permet aussi de déterminer la présence de la fatigue, comme il est mentionné par Brouha (1963) :

« Quand la récupération n'est pas suffisante entre une série d'opérations, les valeurs initiales du pouls après le travail s'élèvent et le rythme cardiaque reste à un niveau plus élevé pendant plus longtemps au cours de la récupération. Un retour lent vers le rythme cardiaque de repos indique nettement l'existence d'un état de fatigue physiologique ».

Parmi les autres facteurs possibles, la déshydratation peut-elle aussi nuire à la récupération et par le fait même être une cause de fatigue. Dans plusieurs situations, l'absorption d'eau et d'hydrate de carbone peut prévenir l'apparition de la fatigue. C'est d'ailleurs ce qui est mentionné par McArdle, Katch et Katch (2001) :

« L'absorption de liquide avant et durant l'effort atténue les effets nuisibles de la déshydratation sur la dynamique cardiovasculaire, la régulation de la température et la performance physique. En ajoutant des hydrates de carbone à la solution orale de réhydratation, un surplus d'énergie utilisable devient disponible au fur et à mesure que les stocks d'hydrates de carbone se vident. Pour amenuiser la fatigue et prévenir la déshydratation, il faut établir la quantité et le mélange optimal de liquide et d'hydrate de carbone. Ces combinaisons sont importantes, car la consommation d'une grande quantité de liquide peut nuire à la consommation d'hydrates de carbone et une solution concentrée en sucre peut nuire au remplacement du liquide. Quand les sucres sont consommés durant l'effort, la réaction insulinaire n'est pas accrue, ce qui serait le cas avant l'effort. Pendant l'effort, la libération d'insuline est inhibée par les hormones du système nerveux sympathique. Ainsi, durant l'effort, les muscles augmentent leur capacité d'absorption du glucose de telle sorte que le glucose exogène qui passe dans les cellules requiert moins d'insuline. »

En maintenant le volume du liquide à un niveau relativement élevé dans l'estomac, le régime de vidange gastrique est favorisé et il peut compenser tout effet inhibiteur apporté par la boisson contenant des hydrates de carbone. Les bienfaits de l'augmentation du volume gastrique sur l'absorption des liquides et des nutriments sont optimaux lorsque le sujet consomme entre 400 et 600 ml de liquide immédiatement avant l'effort. Par la suite, il est préférable d'en consommer entre 150 et 250 ml toutes les 15 minutes durant l'effort (McArdle, Katch et Katch, 2001). Lors d'exercices qui se déroulent à une intensité de 60 à 80 % de la  $VO_2$ max, il est possible de retarder l'apparition de la fatigue. Il suffit pour le sujet d'ingérer des hydrates de carbone durant son exercice, et ce, périodiquement ou trente minutes avant l'apparition anticipée de la fatigue qui survient généralement après 2 à 3 heures d'effort. Par contre, l'effet de l'apport de glycogène est négligeable lors d'un exercice de faible intensité (Coyle et Coggan, 1984).

## 2.9 Les évaluations psychophysiques de l'effort

Les tests psychophysiques permettent de connaître les perceptions de l'effort que les sujets ont face aux conditions qui sont proposées. La pertinence de prendre en considération l'évaluation psychophysique des pompiers vient de certaines études antérieures. Celles-ci ont démontré une relation linéaire entre les tests psychophysiques et l'intensité de l'exercice (Baker et coll., 2000; Sköldström, 1987). De plus, les perceptions de l'effort présentent une très forte corrélation avec les Fc ainsi que la consommation d'oxygène. Dans une de ces études, l'auteur rapporte que la forte corrélation observée entre l'évaluation psychophysique et les Fc démontre que les pompiers sont très conscients des contraintes physiologiques imposées par le poids de l'équipement et la chaleur produite à l'intérieur (Sköldström, 1987). La figure 2.17 illustre les données qui ont été recueillies durant cette étude et les conditions de cette expérience ont été présentées précédemment. La relation présentée sur cette figure confirme la justesse de l'appréciation subjective du niveau de l'effort des pompiers par rapport à l'évaluation plus objective de la Fc.

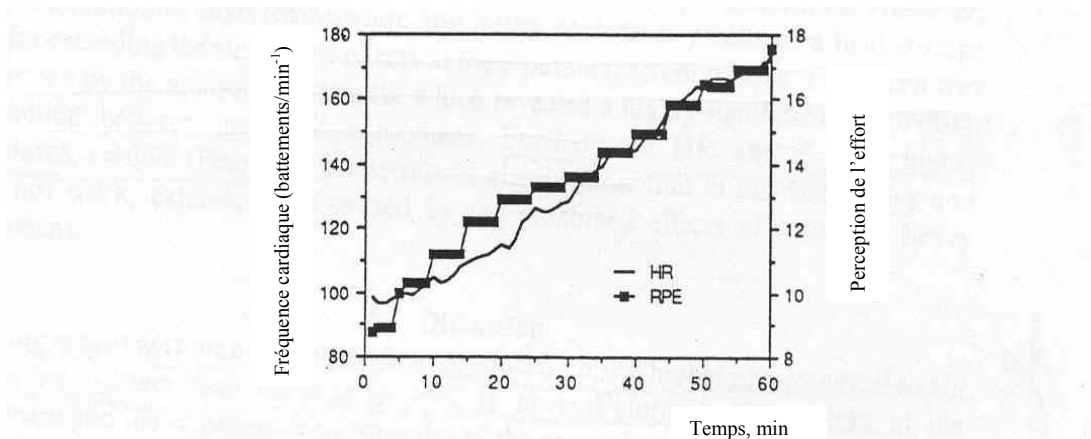


Figure 2.17 Fréquence cardiaque et évaluation psychophysique pour la condition avec VIP à 45°C. Valeurs moyennes des 6 sujets durant la condition de 60 minutes. (Tirée de Sköldström, 1987).

## 2.10 Synthèse de la revue

La revue de littérature a présenté plusieurs études réalisées qui avaient pour but de discriminer les VIP. Certaines d'entre elles ont comparé différents modèles de VIP entre eux alors que d'autres se sont plutôt attardés à documenter la charge de travail qu'implique le port d'un VIP. Afin de réaliser leur étude, les auteurs ont tous utilisé diverses mesures qui permettent de quantifier les adaptations physiologiques des sujets. Parmi ces mesures, on retrouve la consommation d'oxygène qui est reliée à la dépense énergétique de l'activité. La consommation d'oxygène n'est pas la seule mesure qui est représentative de la dépense énergétique, la Fc permet aussi de faire des liens avec la dépense énergétique en plus d'être sensible au stress environnemental et à la thermorégulation. D'ailleurs, il existe une relation linéaire entre la Fc et la consommation d'oxygène. La revue de littérature s'est aussi attardée sur les quatre facteurs qui influencent la thermorégulation. Ces facteurs sont très à propos puisque les pompiers font face à un environnement hostile qui les oblige à se protéger à l'aide d'un VIP qui empêche la dispersion

de la chaleur produite par le pompier. Le bilan des évaluations psychophysiques suggère qu'il existe une forte corrélation entre l'effort perçu par le sujet et la charge physiologique réelle qu'implique l'activité physique. Plusieurs des concepts physiologiques discutés ont permis de mettre en place le protocole expérimental de la présente étude. De plus grâce à ces éléments, il sera possible de documenter les résultats contraintes physiologiques entraînées par le port des différents VIP.

### 3. MÉTHODOLOGIE

#### 3.1 Sujets

L'étude a été réalisée avec cinq sujets, car les coûts reliés à la disponibilité des VIP neufs et la présence de pompiers professionnels faisaient en sorte qu'il était difficile d'avoir plus de participants (pour avoir une vue d'ensemble de la démarche utilisée, voir figure 3.1). Ce choix du nombre de sujets était basé sur deux études qui ont été réalisées précédemment. Une de ces études était celle réalisée par Ftaiti et coll. (2001), cette étude avait pour but de vérifier les différences entre des types de VIP. Lors de cette étude, les auteurs ont utilisé six sujets et des résultats significatifs ont été obtenus. L'autre étude réalisée par Tattersall et Thomas (1985) a, quant à elle, utilisé quatre sujets afin d'évaluer la différence du coût physiologique associé au port des VIP.

Les sujets ont été recrutés via les casernes de pompiers de la Ville de Montréal à l'aide d'une affiche expliquant le but, les tests et les engagements de l'étude. Les sujets sélectionnés étaient non-fumeur et leur âge n'avait aucune importance. Ces derniers étaient informés de porter leurs vêtements habituels de travail lors des tests. Cependant, tout comme il est recommandé dans le livre American College of Sports Medicine (ACSM) (2000), les sujets ont rempli un questionnaire QAAP afin de s'assurer de leur état de santé. Un formulaire de consentement, conforme aux normes de l'UQAM, a aussi été remis aux sujets afin qu'ils confirment leur participation à l'étude. Celui-ci les informait qu'ils étaient libres de se retirer de l'expérience à n'importe quel moment et qu'ils étaient les seuls juges de leur décision. Les sujets n'étaient pas les seuls à pouvoir mettre fin à l'expérience, en tout temps durant le test sous maximal et les autres tests, l'expérimentation devait être interrompue pour des raisons de sécurité au moment où le sujet atteignait 85 % de sa Fc maximale (ACSM, 2000). Le QAAP et le formulaire de consentement sont présentés en annexes A et B. Le tableau 3.1 contient des informations plus précises sur les pompiers participants.

Tableau 3.1 Caractéristiques des sujets

Sujets	Âge	Fonction	Expérience	Fumeur	Grandeur	Poids	VO <sub>2</sub> max estimée
1	30	Pompier	1 an	Non	1,82	96	48,6 ml*kg <sup>-1</sup> *min <sup>-1</sup>
2	34	Pompier	12 ans	Non	1,77	84	63,2 ml*kg <sup>-1</sup> *min <sup>-1</sup>
3	41	Pompier	23 ans	Non	1,70	84	56,8 ml*kg <sup>-1</sup> *min <sup>-1</sup>
4	34	Pompier	15 ans	Non	1,63	81	58,2 ml*kg <sup>-1</sup> *min <sup>-1</sup>
5	25	Pompier	4 ans	Non	1,81	79	53,5 ml*kg <sup>-1</sup> *min <sup>-1</sup>

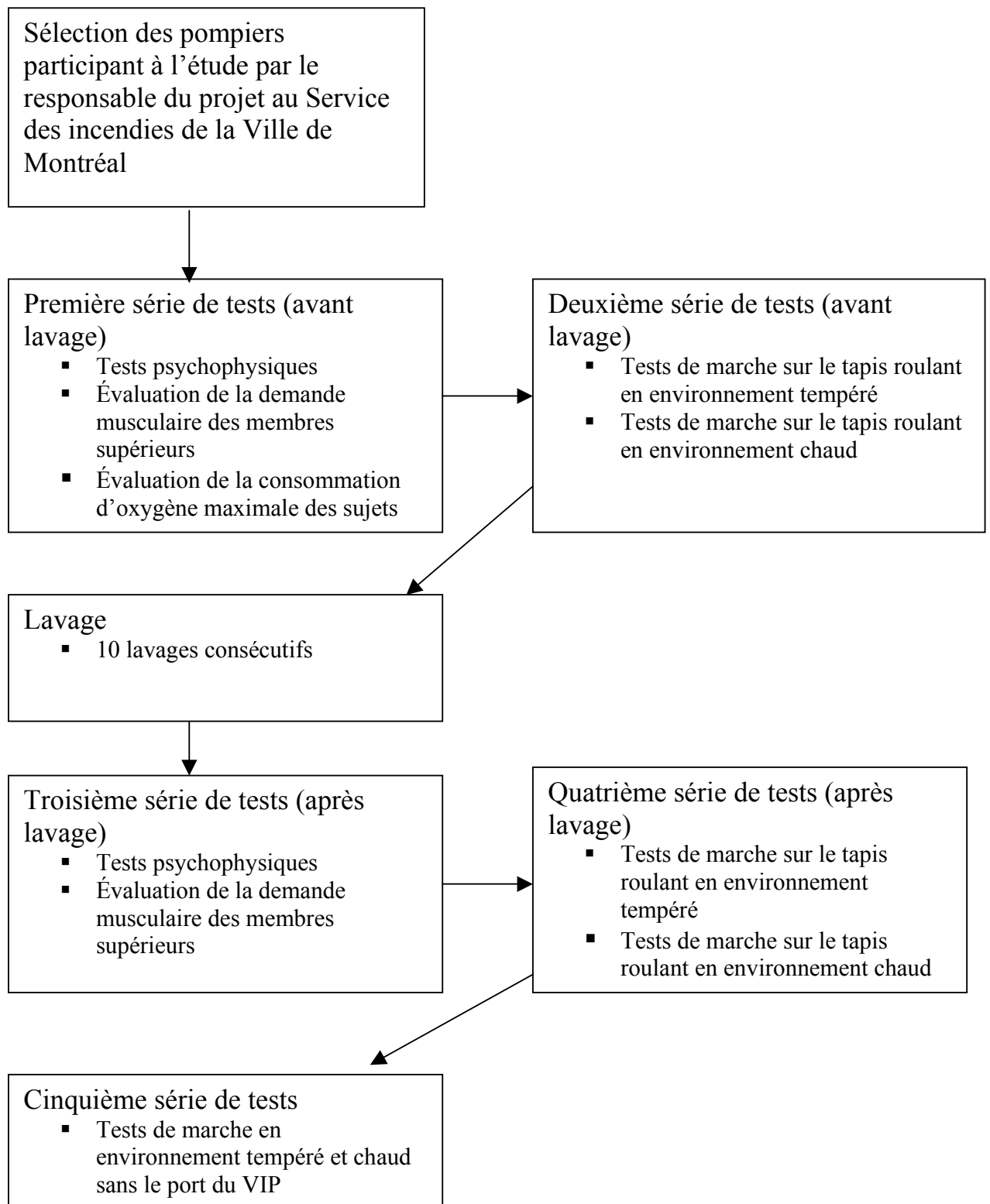


Figure 3.1 : La démarche utilisée pour réaliser l'étude.

## 3.2 Tests utilisés et variables indépendantes

Afin d'évaluer les contraintes reliées à l'utilisation de plusieurs VIP, des tests simulant diverses activités de travail ont été retenus, car il faut toujours tenir compte du concept de spécificité lors d'une évaluation. Ce concept rapporte que les capacités d'endurance d'un athlète seront toujours plus élevées si elles sont testées dans une activité qui reproduit le plus possible leur activité sportive (Wilmore et Costill, 2002). C'est pour cette raison que les tests qui ont été choisis se rapprochent le plus possible des activités routinières qui sont réalisées par les pompiers lors de leur travail. Les tests et leurs conditions sont présentés ci-après.

### 3.2.1 Le prétest

Ce test n'était pas une condition où les VIP étaient évalués, mais le prétest est présenté ici puisqu'il servait à faire une prédiction de la consommation d'oxygène maximale ( $VO_2\text{max}$ ) de chacun des sujets. Le prétest était un test de prédiction sous-maximale de la capacité aérobie, selon Scherrer (1981) :

« La capacité aérobie peut être déterminée par des épreuves de travail maximal. Il s'agit en fait d'épreuves pénibles, puisque l'on demande au sujet d'exécuter un effort qui aboutit à l'épuisement complet et sollicite au maximum les fonctions respiratoires et cardiaques. Ces épreuves peuvent être dangereuses chez les sujets déficients. Des cas d'infarctus du myocarde provoqués lors d'une épreuve de travail maximal ont déjà été rapportés. »

McArdle, Katch et Katch (2001) argumentent eux aussi sur les mêmes propos. Selon eux, les tests de  $VO_2\text{max}$  peuvent s'avérer potentiellement dangereux pour des adultes qui n'ont pas consulté leur médecin, qui accompliraient cette tâche sans mesure préventive adéquate ou sans surveillance. Pour éviter les problèmes de santé aux sujets, il est préférable d'extrapoler la valeur maximale du travail aérobie à partir d'un test sous-maximal. Malgré la relation linéaire qui existe entre la Fc et la consommation maximale d'oxygène, un test de prédiction sous-maximal ne représente pas la valeur exacte de la  $VO_2\text{max}$  des sujets. Par contre, McArdle, Katch et Katch (2001) rapportent qu'une  $VO_2\text{max}$  estimée à partir de la Fc se situe entre 10 à 20 % de la valeur réelle. D'ailleurs, Rodhal (1989) a déjà précisé que la Fc maximale ne peut pas être déterminée précisément et il n'est pas justifiable d'utiliser une méthode qui utilise cette valeur de prédiction pour des fins de comparaison entre les individus. Selon le chercheur, cette valeur serait justifiable pour comparer un même individu dans des conditions différentes. Cet élément se rapporte directement au but de notre étude, car les sujets étaient comparés à eux-mêmes dans différentes conditions et non aux autres sujets.

Le prétest était utilisé afin d'identifier une intensité sur le tapis roulant qui correspondait à 40 % de la  $VO_2\text{max}$  du sujet. Cette intensité était utilisée pour les tests de marche en environnement tempéré et chaud. Il est important de mentionner que cette intensité représentait un effort soutenu à 40 % de la consommation d'oxygène maximale lorsque le sujet était en tenue sportive.

Le prétest était un test de marche sous-maximal sur tapis roulant en cinq étapes. Tel qu'il est recommandé dans l'ACSM (2000), le tapis utilisé avait des rampes afin qu'au départ le sujet puisse s'aider à conserver son équilibre. Durant le test, une directive était donnée pour que le



sujet se serve des rampes seulement pour prévenir une perte d'équilibre et le tapis était aussi muni d'un bouton d'arrêt d'urgence (ACSM, 2000). Le test était effectué dans une tenue sportive (short, T-shirt et espadrilles de course). Ce test comportait les cinq paliers :

- Le premier palier avait une durée de 3 minutes, une vitesse de 4 km/h et une pente de 2 %;
- Le deuxième palier avait une durée de 3 minutes, une vitesse de 5,1 km/h et une pente de 2 %;
- Le troisième palier avait une durée de 3 minutes, une vitesse de 6 km/h et une pente de 2 %;
- Le quatrième palier avait une durée de 3 minutes et une vitesse de 6 km/h. Lors de ce palier, la pente était modifiée afin de conserver un pas de marche tout en atteignant une intensité de 60 % de la  $VO_2\text{max}$  (72,8 % de la  $F_c$  maximale). Pour trouver cette pente, il fallait d'abord produire la vitesse qui permettrait d'atteindre l'intensité décrite précédemment. Cette vitesse était obtenue en se basant sur la relation linéaire de la droite tracée à l'aide des trois données précédentes. Les conversions des vitesses (en vitesse et en pourcentage de pente) étaient réalisées à l'aide du tableau de l'ACSM (2000). Ce tableau qui se retrouve en annexe a permis d'obtenir une équivalence pour augmenter la pente plutôt que la vitesse;
- Le cinquième palier était lui aussi une prédiction faite à l'aide des quatre données précédentes et il avait une durée de 3 minutes et une vitesse de 6 km/h. L'intensité ciblée pour ce palier était 77,5 % de la  $VO_2\text{max}$  (85 % de la  $F_c$  maximale) et c'est la pente qui était modifiée pour atteindre cette intensité avec une procédure identique à celle du quatrième palier.

### **3.2.2 Tests d'appréciations subjectives du confort**

Durant cette partie, les pompiers devaient réaliser des tests qui portaient sur l'appréciation subjective du confort (sensation d'aisance et de lourdeur du mouvement). L'équipement de pompier était porté au complet (bottes, VIP, gants, chapeau et ARA) afin de voir si la combinaison de certaines de ces pièces d'équipement pouvait créer un encombrement inattendu lorsque les pompiers effectuent des mouvements présents dans leur travail. Pendant l'évaluation, plusieurs mouvements étaient utilisés : mettre son vêtement individuel de protection, enlever son vêtement individuel de protection, se déplacer en marchant, se déplacer à quatre pattes, se déplacer à genoux, se déplacer rapidement, passer par-dessus un obstacle, passer sous un obstacle, s'accroupir, se pencher, faire une torsion du tronc avec un genou au sol, monter une échelle, monter un escalier, utiliser la hache sur le sol, manipuler une personne, utiliser des outils en position à genoux et rouler des boyaux. La perception psychophysique des sujets était mesurée à l'aide d'échelles visuelles analogues. Ces échelles sont présentées en annexe. L'ordre dans lequel les VIP étaient testés était aléatoire d'un sujet à l'autre.

### **3.2.3 Tests de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré**

Les tests sur le tapis roulant avaient une durée de 20 minutes et ils étaient effectués à la vitesse qui devait correspondre à 40 % du  $VO_2$ max du sujet. Afin d'atteindre cette intensité, la vitesse était de 6 km/h et la pente était ajustée. Cette dernière a varié de 2 à 3,5 % en fonction des sujets. Lors de ce test, la température moyenne était de 21,1°C ( $\pm 0,3^\circ\text{C}$ ) et l'humidité relative à 48,6 % ( $\pm 10,3\%$ ). La  $F_c$ , la température cutanée, la consommation d'oxygène, l'évaluation psychophysique et le taux d'humidité dans le VIP étaient mesurés durant ce test.

Ce test était réalisé pour les conditions avec les cinq VIP (VIP) retenus pour l'étude et sans VIP (SVIP). Durant la journée, les pompiers réalisaient deux tests. Le test en environnement tempéré était d'abord réalisé puis les sujets effectuaient le test en environnement chaud pour le même VIP. Les sujets avaient une pause de deux heures entre les tests afin de limiter les effets reliés à la fatigue cumulée. L'ordre, dans lequel on testait les VIP, était aléatoire pour chacun des sujets.

### **3.2.4 Tests de marche sur le tapis roulant en environnement chaud**

Le protocole utilisé pour ces tests était exactement le même que lors du test de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré à l'exception que l'environnement utilisé se rapprochait davantage de la réalité du travail des pompiers. Comme il a été présenté dans la littérature, cet environnement de travail présente des températures qui varient entre 38 à 66°C. Toutefois, il faut préciser encore que certaines pointes de chaleur se situent jusqu'à 238°C, mais ces pointes de chaleur ne sont pas représentatives de l'environnement de travail moyen des pompiers (Abeles et coll., 1973). Lors de ce test, la température moyenne était de 40,9°C ( $\pm 0,8^\circ\text{C}$ ) et l'humidité relative à 71,7 % ( $\pm 4,2\%$ ). D'autres études réalisées en ambiance chaude pour les conditions avec le port VIP ont utilisé des températures avoisinant celles retrouvées dans les milieux de travail des pompiers, soit 36-38°C et 52 % HR (Gavhed et Holmer, 1989), 39°C ( $\pm 1$ ) et 70 % HR (Faff et Tutak, 1989) 30°C WBGT et 50 % HR (Tack, Webb et Walsh, 1984), 41,8°C WBGT ( $\pm 0,2$ ) (Duncan, Gardner et Barnard, 1979) et 45°C et 15 % HR (Sköldström, 1987).

Afin d'atteindre ces conditions, une chambre isolée a été construite. Cette chambre était disposée autour d'un tapis roulant de marque Quinton modèle 24-72 qui a servi aux tests en environnement chaud. Les dimensions de la chambre étaient de 12' (longueur) par 4' (largeur) par 8'6'' (hauteur) et une porte de 8' (longueur) par 3' (largeur) donnait accès à l'intérieur de celle-ci. Les structures étaient construites à l'aide de planches de bois (2'' X 3'') qui étaient recouvertes d'un polythène à l'intérieur et à l'extérieur. Des morceaux d'isolants en polystyrène extrudé (1'' X 1'') étaient fixés à l'intérieur des murs entre les travers pour éviter que les polythènes se collent ensemble et que les propriétés d'isolation de l'air située entre ceux-ci soient perdues. Le toit de l'abri était fait d'isolants en polystyrène extrudé de 1'' qui étaient maintenus en place à l'aide d'une bande élastique. À l'intersection des murs, un scellant fut apposé pour éviter les fuites d'air. Afin d'obtenir les conditions climatiques désirées, une chaufferette était située à l'intérieur et trois autres étaient situées à l'extérieur de la chambre permettant un bon échange d'air à l'intérieur de la chambre. Ces quatre chauffages d'appoint avaient tous une capacité de 1500W. Pour permettre le chauffage en provenance de l'extérieur, des orifices ont été

faits dans un des murs. Pour des raisons de sécurité, cette section du mur a été remplacée par un isolant en polystyrène extrudé de 1". Les zones de contact entre l'isolant et les chaufferettes ont été recouvertes de papier d'aluminium afin d'avoir un environnement sécuritaire. L'humidité relative de la chambre était contrôlée à l'aide de deux humidificateurs et d'une bouilloire situés à l'intérieur de l'abri. La figure 3.2 présente une image extérieure et intérieure de la chambre isolée utilisée dans cette étude.

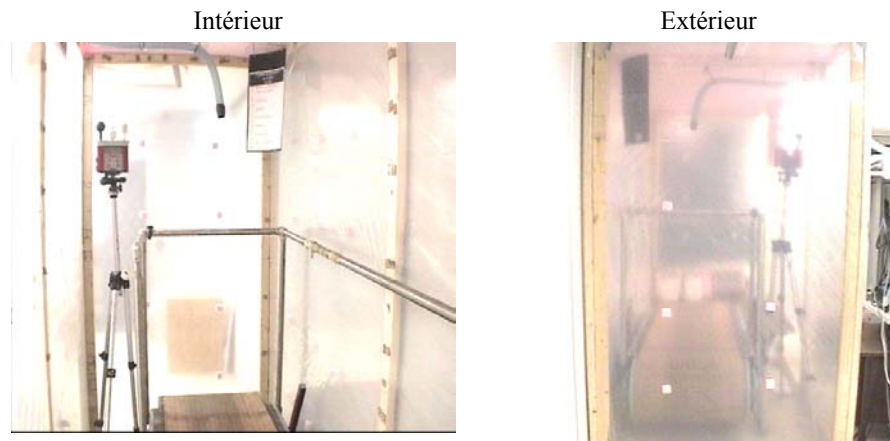


Figure 3.2 Photos, intérieur et extérieur, de la chambre isolée utilisée dans cette étude.

### 3.3 Les vêtements individuels de protection (variables indépendantes)

L'étude a été réalisée avec cinq VIP provenant des compagnies A (3) et B (2). Le tableau 3.2 présente les caractéristiques des VIP ainsi que leur nom de référence respectif utilisé dans ce document. En plus de ces cinq VIP, une condition sans VIP était réalisée. Pour cette condition, les pompiers portaient la tenue vestimentaire qu'ils utilisent sous leur VIP.

Pendant l'étude, les VIP étaient testés dans deux conditions : « VIP neuf » et « VIP lavé ». Pour la condition « VIP neuf », les vêtements étaient portés à la suite du déballage des produits livrés par les deux compagnies. Pour la condition « VIP lavé », les vêtements étaient lavés à 10 reprises afin de voir si leurs propriétés étaient affectées par cette réalité à laquelle sont soumis tous les VIP utilisés sur le terrain. Ces lavages étaient effectués dans les installations désignées de la ville de Montréal.

Tableau 3.2 Caractéristiques des vêtements individuels de protection

Nom de référence	Compagnie	Composants	Poids
<b>VIP 1</b>	A	5 7,0 oz 55 % filam.Nomex/45 % Kev V 5,0 oz Crosstech on Nomex PJC Z 7,5 oz Aramid Batt Quilt/Nomex	4,6 kg
<b>VIP 2</b>	B	Revêtement ext. : Gladiator Membrane : Crosstech Doublure : XE 289	5,0 kg
<b>VIP 3</b>	A	H 6,0 oz 50 % filam.Kev/50 % Nomex V 5,0 oz Crosstech on Nomex PJC Y 7,0 oz Aramid Batt Lami/Nomex	4,4 kg
<b>VIP 4</b>	B	Revêtement ext. : Guardian 790 Membrane : Crosstech Doublure : Caldura	4,9 kg
<b>VIP 5</b>	A	5 7,0 oz 55 % filam.Nomex/45 % Kev V 5,0 oz Crosstech on Nomex PJC 4 6,7 oz Nomex/1xE89 Nomex	4,5 kg

### 3.4 Variables mesurées (variables dépendantes)

#### 3.4.1 La consommation d'oxygène ( $VO_2$ )

L'appareil utilisé pour mesurer la consommation d'oxygène maximale était un spiromètre en circuit ouvert, qui comprenait un analyseur d'O<sub>2</sub> (Ametek modèle SO), un analyseur de CO<sub>2</sub> (Ametek modèle CO), un moniteur de ventilation (P.K. Morgan modèle ventilator monitor), un pince-nez et un casque pour tenir l'embout buccal. Un ordinateur servait à échantillonner les paramètres mesurés aux quinze secondes.

#### 3.4.2 La fréquence cardiaque (Fc)

L'appareil utilisé pour la prise de mesures des Fc est un cardio-fréquence mètre (Polar modèle S-610). Cet appareil enregistrait les valeurs aux cinq secondes. À la fin de l'expérience, les données étaient retransmises dans un ordinateur afin d'être analysées.

#### 3.4.3 Les cotes psychophysiques

Un indice était utilisé pour les évaluations psychophysiques. Les pompiers donnaient leur évaluation pour chacun des VIP à l'aide des échelles visuelles qui permettaient au pompier de

donner leur appréciation subjective du confort (sensation de lourdeur et d'aisance de mouvement).

Les évaluations psychophysiques étaient aussi utilisées pour les tests de marche sur tapis roulant en environnement tempéré et chaud. L'échelle qui était utilisée lors de ces tests est l'échelle de Borg 6 -20. Cette échelle est présentée à l'annexe C.

### **3.4.4 La température corporelle**

L'appareil utilisé pour mesurer la température corporelle était un système d'acquisition de données SmartReader plus 8. Cet appareil est muni de quatre sondes qui sont conçues pour mesurer la température cutanée. Ces sondes sont conçues pour mesurer des températures variant entre 20°C et 40°C, avec une précision de  $\pm 0,2^\circ\text{C}$  et un échantillon aux huit secondes. Comme il est présenté par Wilmore et Costill (2002), il est possible de connaître la température de la peau grâce à une équation qui tient compte de la superficie de chacune des surfaces. Au début de la journée, quatre sondes étaient placées sur la peau du sujet aux emplacements suivants : sous la tubérosité deltoïdienne, au centre du sternum, sur la cinquième vertèbre thoracique et au centre de la cuisse dans le plan sagittal. Une équation qui tenait compte de la superficie de chacune des surfaces présentées par Baker, Scruggs et Pahsarn (1998) était utilisée afin de connaître la température de la peau. Les constantes qui représentent la fraction de la surface corporelle en contact avec l'environnement sont présentées dans l'équation 1.

**Équation 1 :**  $T_{\text{peau}} = (T_{\text{bras}} \cdot 0,12) + (T_{\text{dos}} \cdot 0,32) + (T_{\text{poitrine}} \cdot 0,32) + (T_{\text{jambe}} \cdot 0,24)$

### **3.4.5 Le taux d'humidité relative et la température à l'intérieur du VIP**

La mesure de l'humidité relative et de la température à l'intérieur du VIP a été réalisée avec un appareil ACR TRH-100. Cet appareil mesure l'humidité relative entre des valeurs de 10 à 95 % (précision de  $\pm 4\%$ ). Il mesure aussi la température sur une échelle de  $-40^\circ\text{C}$  à  $70^\circ\text{C}$  (précision de  $\pm 0,6^\circ\text{C}$  autour de  $25^\circ\text{C}$  et de  $\pm 2^\circ\text{C}$  sur toute l'étendue). Cet appareil prend un échantillon toutes les huit secondes. La prise de mesures à l'intérieur de l'habit s'est fait sensiblement de la même façon que l'étude réalisée par Baker et coll. (2000). Le capteur était placé au centre du dos entre le chandail du sujet et le VIP. La seule différence est qu'au niveau médio-latéral, le capteur était légèrement décalé afin de ne pas être compressé par le harnais. Pour se faire, l'enveloppe de kevlar fournie avec l'appareil était fixée sur la bretelle droite du pantalon.

Au cours de l'étude, cet appareil de mesure a été défectueux et il a dû être remplacé par un autre appareil identique. Par contre, cet incident a nui aux analyses statistiques, car il a entraîné la perte de plusieurs données. Par conséquent, cette variable dépendante ne se retrouve pas dans la section des résultats.

### 3.5 Variables extrinsèques

Les conditions expérimentales étaient reproduites avec le plus d'exactitude possible d'un sujet à l'autre, car plusieurs facteurs pouvaient influencer la prise de mesures. Pour la Fc, il est mentionné par Scherrer (1981) que : « En dehors du sommeil et des conditions basales, la Fc subit des variations intra-individuelles dues aux activités végétatives ou à la posture ». Ces variations sont dues à plusieurs facteurs qui ont été présentés comme les repas, la posture, la température ambiante et les émotions. Ces éléments étaient tous contrôlés afin d'avoir des conditions expérimentales similaires tout au long de l'étude. La position utilisée pour la prise de la Fc de repos était assise. Elle était prise de la façon suivante pour tous les sujets : le sujet s'assoit sur une chaise, dans le laboratoire et après cinq minutes de repos, la Fc moyenne de repos était prise sur une minute.

Lors du test sur tapis roulant en environnement tempéré, la température de la pièce était contrôlée pour correspondre à celle suggérée par Smolander et coll. (1990). Cet environnement se situe à 21°C ( $\pm 1,5$  °C), avec une humidité relative de 55 % ( $\pm 5$  %). Ces conditions se retrouvent dans plusieurs études qui ont analysé le coût énergétique des VIP (Baker, Scruggs et Pahsarn, 1998 ; Baker et coll., 2000; Ftaiti et coll., 2001). Malheureusement, le laboratoire utilisé pour les tests de marche en environnement tempéré était très grand et il n'était pas doté d'un régulateur d'humidité. Alors, l'humidité relative obtenue lors des tests était de 48 % ( $\pm 10,3$  %). Par contre, les températures de la pièce étaient beaucoup plus stables (21,1°C  $\pm 0,3$ ). Les tests de marche en environnement tempéré ont donc été effectués dans une pièce où la température était parfaite, mais où l'humidité relative était légèrement trop basse. Les tests sur les tapis roulants en environnement chaud étaient effectués dans un environnement de 40,9 °C ( $\pm 0,8$  °C), avec une humidité relative de 71,7 % ( $\pm 4,2$  %). Cette température était utilisée puisqu'elle est plus représentative de l'environnement de travail des pompiers en situation réelle. Les mesures d'ambiances thermiques étaient prises à l'aide d'un appareil moniteur d'environnement thermal QuesTEMP<sup>o</sup> 32. Cet appareil de mesure était positionné sur un trépied à une hauteur d'environ 1,2 mètre pour les tests sur le tapis roulant en environnement tempéré et à 1,8 mètre pour les tests en environnement chaud. Comme il est recommandé dans le manuel d'instruction de l'appareil, aucune personne ne se situait dans un rayon de 1,10 m autour de ce dernier pour le test en environnement tempéré. Pour les tests en environnement chaud les contraintes d'espace n'ont pas permis de disposer l'appareil à plus de 60 cm du sujet. L'appareil était toujours mis en marche au moins 10 minutes avant que la première mesure ne soit prise. Par la suite, les mesures étaient notées toutes les minutes durant chaque test.

Les conditions expérimentales utilisées impliquaient un exercice aérobic bref et intense. Or, cette activité jumelée au port d'un VIP causait un stress thermique élevé qui pouvait à son tour causer une déshydratation. Pour prévenir la déshydratation du sujet lors de la réalisation du test de marche, les liquides perdus par évaporation étaient compensés avec l'ingestion d'eau pour chaque sujet. Une mesure était prise afin de contrôler le niveau de déshydratation du sujet, puisqu'une perte de poids de 1 kg équivaut à une déshydratation de 1000 ml (McArdle, Katch et Katch, 2001). Une fois cette perte connue, la réhydratation était faite selon la littérature. Le premier apport en eau du sujet était de 500 ml et il était consommé juste avant que le sujet débute son trajet vers le laboratoire. Une deuxième absorption de liquide était effectuée 30 minutes

avant le début du premier test et par la suite, le même déroulement était respecté avant le deuxième test sauf que la première absorption se faisait à la fin du premier test (Baker, Scruggs et Palsarn, 1998; Myrhe, Teer et Miszko, 1998).

Tel que mentionné, les repas créent une hausse du métabolisme qui est généralement observée dans les heures qui suivent la prise d'un repas. Deux causes expliquent cette élévation, le travail du tube digestif et le travail associé à la transformation des aliments absorbés. L'absorption d'un repas copieux peut influencer le métabolisme jusqu'à 4 heures après son ingestion (Scherrer, 1981). C'est pourquoi, il était conseillé au sujet de prendre un repas léger 2-3 heures avant l'arrivée dans le laboratoire ce qui devait laisser le temps aux effets de la digestion de se dissiper. Malgré tout, des questions étaient posées aux sujets pour connaître l'heure et la composition de leur dernier repas (ou collation). Entre les deux tests, un repas léger, mais riche en glucides était donné aux sujets. Ce repas, consommé à la fin du premier test, était composé de 500 ml de jus de fruits et d'une barre de produits céréaliers (Vector).

Pour limiter les effets de la fatigue liés à des activités journalières normales, les sujets ne devaient pas avoir effectué d'exercices physiques avant les tests. Afin de s'assurer que cette condition était respectée, les sujets étaient informés d'être reposés et de ne pas faire d'exercices intenses pour une période normale de 24 heures avant le début des tests (Baker, Scruggs et Palsarn, 1998).

### **3.6 Évaluation de la charge musculaire aux membres supérieurs (étude exploratoire)**

Avant le début des tests sur tapis roulant, les pompiers devaient passer le test visant à évaluer les contraintes imposées aux muscles des membres supérieurs par le port du VIP. Ce test avait pour but de démontrer la liberté de mouvement permise par le port des différents VIP au niveau des articulations des membres supérieurs.

#### **Tâche**

Les pompiers devaient simuler l'action de la phase de recouvrement des bras que l'on retrouve habituellement lors de la montée d'une échelle. Tel que démontré aux figures 3.3 et 3.4, la tâche consistait à toucher en alternance une barre horizontale localisée à la hauteur des épaules et deux plaques de contact fixées au niveau de la portée verticale maximale de la main du sujet sur un montage placé devant lui. Un rythme de 40 mouvements par minute était imposé par un métronome et la durée d'un essai était de 15 secondes. Le sujet réalisait trois essais et une pause de trois minutes lui était allouée entre les essais pour limiter les effets reliés à la fatigue cumulée.



L'activité musculaire des fléchisseurs de l'épaule droite et des extenseurs du coude droit était mesurée lors de ce test.



Figure 3.3 Représentation de l'amplitude des mouvements réalisés lors du test pour les membres supérieurs.



Figure 3.4 Représentation du montage utilisé pour capter le contact de main.

Afin de parvenir à l'enregistrement de l'activité musculaire des muscles, une électrode était appliquée au niveau de la partie charnue de chacun des muscles de façon à suivre l'orientation des fibres musculaires. Au préalable, un gel abrasif était appliqué afin d'enlever les particules présentes à la surface de la peau. La peau était ensuite lavée à l'aide d'un tampon alcoolisé. Une électrode supplémentaire était appliquée au niveau d'une structure osseuse pour servir de référence (mise à la terre). Les signaux recueillis par les électrodes de surfaces étaient acheminés vers l'amplificateur biologique des signaux électromyographiques (THERAPEUTIC INSTRUMENT). Les signaux analogiques provenant de l'amplificateur biologique étaient recueillis et transformés en valeurs numériques par un convertisseur analogique/numérique (DATA SHUTTLE EXPRESS) et analysés avec un logiciel d'acquisition (WORK BENCH). La fréquence d'échantillonnage était fixée à 1000 Hz. L'état brut des différents signaux recueillis était vérifié avant le début de la séance d'enregistrement dans le but de calibrer l'amplitude des signaux. Par la suite, les signaux enregistrés étaient rectifiés et filtrés à une fréquence de 6 Hz.

En plus, les valeurs EMG étaient transformées en pourcentage d'utilisation musculaire (PUM) à partir des amplitudes EMG de références obtenues via des contractions isométriques produites pour chaque muscle évalué (équation 1). Les contractions isométriques de référence ont été réalisées au début de l'expérimentation. Pour chacun des muscles, trois essais étaient effectués et la moyenne obtenue a été conservée pour les besoins de l'analyse. La valeur EMG moyenne retenue pour chacun des essais expérimentaux correspondait à quatre cycles de mouvement complet de bras droit réalisés durant l'essai. Cette identification des cycles de mouvement était réalisée à l'aide des plaques de contact qui induisaient une différence de voltage sur un des canaux du logiciel WORK BENCH.

$$\text{PUM} = \frac{\text{Valeur EMG moyenne mesurée au cours de l'essai expérimental} \times 100}{\text{Valeur EMG moyenne obtenue lors des tests isométriques}} \quad (\text{Équation 1})$$

Le test de référence consistait à maintenir une charge avec une posture statique. Pour le deltoïde antérieur droit, le sujet réalisait une flexion antérieure de l'épaule de 90 degrés avec le bras et le maintien d'une charge de 5 kg pendant cinq secondes (figure 3.5A). Pour le triceps, le bras était maintenu le long du corps et l'avant-bras fléchi à 90 degrés. Le sujet devait maintenir cette posture avec une contraction isométrique des extenseurs du coude pour résister à une charge de 7.5 kg imposée par le système à poulies (figure 3.5B).

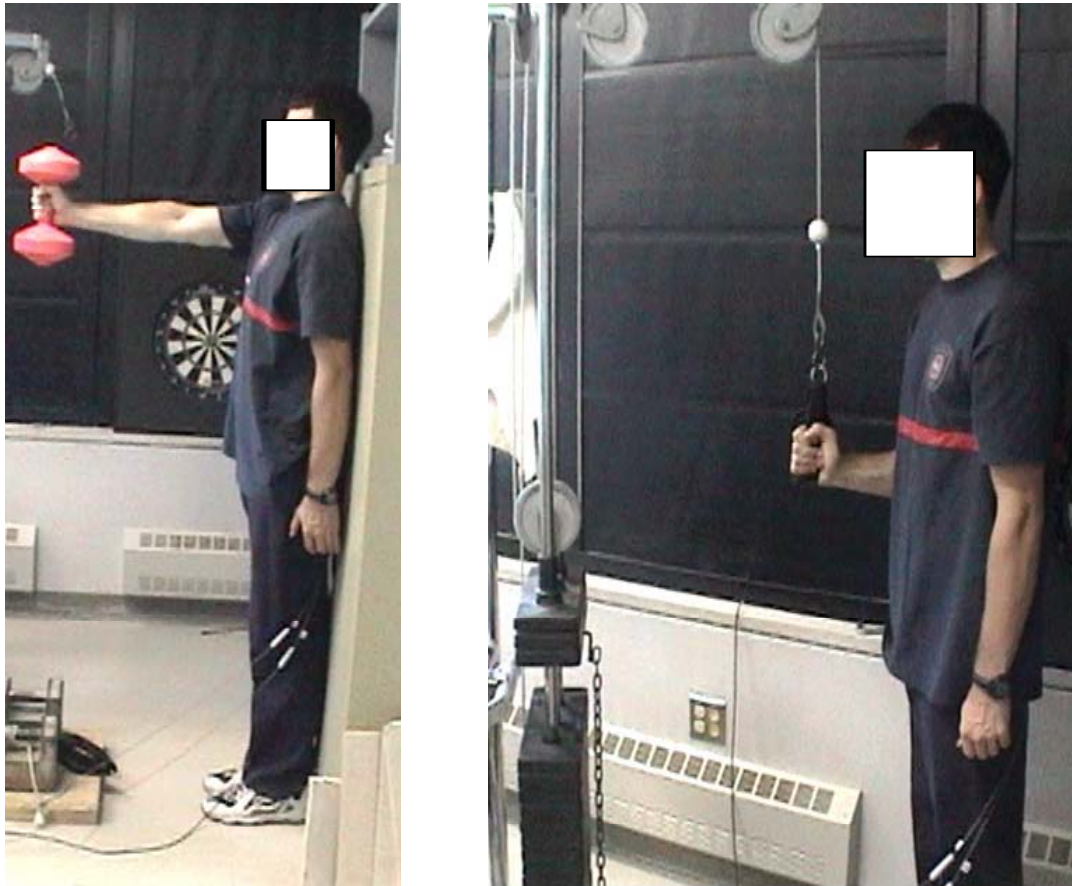


Figure 3.5 Position du sujet lors des tests de standardisation. A) position pour le deltoïde antérieur B) position pour le triceps.

## 4. RÉSULTATS

### 4.1 Les résultats des tests d'appréciations subjectives du confort

Cette première section présente les résultats des tests d'appréciations subjectives du confort. Ces tests ont été effectués lors de la première et de la dernière journée d'expérimentation pour chaque sujet. Le tableau 4.1 présente les résultats des analyses statistiques qui permettent de vérifier si les VIP et leur lavage ont entraîné des différences de perception significatives.

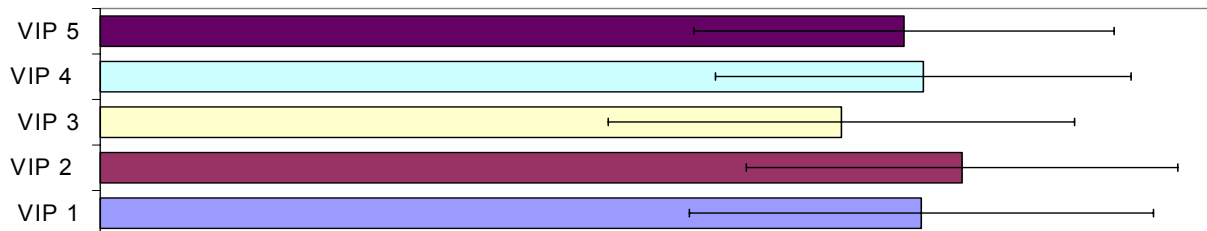
La seule différence significative se retrouve au niveau du facteur VIP pour le test où les sujets devaient faire une torsion du tronc avec un genou au sol. Afin de bien démontrer quels VIP sont différents entre eux, des contrastes différentiels ont été utilisés (tableau 4.2). Selon ce tableau, il existe une différence significative entre le VIP 3 et les VIP 1, VIP 2 et VIP 5. Ainsi, comparativement au VIP 3, il est plus facile d'effectuer une torsion du tronc avec un genou au sol lorsque les sujets portent ces trois VIP. L'écart entre le VIP 3 et ces VIP est de 7 % avec le VIP 1, 11 % avec le VIP 2 et 6 % avec le VIP 5. La figure 4.1 présente les valeurs moyennes de perception obtenues pour chacun des VIP lors de ce test.

Tableau 4.1 Résultats des ANOVA avec correction Huynh-Feldt pour les facteurs lavage, VIP et leur interaction (lavage \*VIP) lors des tests d'appréciations subjectives du confort réalisés par les sujets (\* $p < 0,05$ )

Tests	Lavage	VIP	Lavage*VIP
Mettre son vêtement individuel de protection	0,092	0,447	0,682
Enlever son vêtement individuel de protection	0,129	0,473	0,714
Se déplacer en marchant	0,075	0,333	0,577
Se déplacer à 4 pattes	0,708	0,061	0,637
Se déplacer à genoux	0,960	0,083	0,986
Se déplacer rapidement	0,184	0,346	0,377
Passer par-dessus un obstacle	0,800	0,806	0,559
Passer en dessous d'un obstacle	0,827	0,181	0,274
S'accroupir (squat)	0,230	0,173	0,613
Se pencher (jambes tendues dos fléchi)	0,866	0,633	0,935
Faire une torsion du tronc avec un genou au sol	0,095	<b>0,030*</b>	0,679
Monter une échelle	0,164	0,175	0,279
Monter un escalier	0,132	0,290	0,276
Utiliser la hache sur le sol	0,337	0,464	0,679
Manipuler une personne (mannequin)	0,688	0,599	0,437
Utiliser des outils en position à genoux	0,314	0,413	0,193
Rouler des boyaux	0,526	0,324	0,219

Tableau 4.2 Analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt des contrastes pour le facteur VIP lors du test consistant à faire une torsion du tronc avec un genou au sol (\* $p < 0,05$ )

VIP 1 vs VIP 2	0,196
VIP 1 vs VIP 3	<b>0,014*</b>
VIP 1 vs VIP 4	0,963
VIP 1 vs VIP 5	0,498
VIP 2 vs VIP 3	<b>0,045*</b>
VIP 2 vs VIP 4	0,341
VIP 2 vs VIP 5	0,216
VIP 3 vs VIP 4	0,136
VIP 3 vs VIP 5	<b>0,016*</b>
VIP 4 vs VIP 5	0,557



extrêmement inconfortable..... extrêmement confortable

Figure 4.1 Résultats du facteur VIP sur l'évaluation psychophysique du confort à l'aide d'une échelle visuelle analogue des sujets pour le test consistant à faire une torsion du tronc avec un genou au sol.

Dans le but d'approfondir l'analyse des tests d'évaluation psychophysique, les VIP ont été classés d'un à cinq en fonction de leur rang pour chacun des VIP. Le VIP qui avait obtenu la perception du confort la plus favorable de la part des sujets se voyait attribuer 5 sur 5, celui qui le suivait 4 sur 5 et ainsi de suite jusqu'au moins apprécié des VIP qui obtenait 1 sur 5. Ce classement fût compilé pour l'ensemble des 17 tests et la figure 4.2 présente la note globale de chacun des VIP. Avec ce classement, le VIP 4 est le plus apprécié avec une note moyenne de 4,1 sur 5. À l'opposé, le VIP 3 est le moins apprécié avec une note de 1,3 sur 5. Cette faible note est caractérisée par 14 des 17 tests où ce VIP a été le moins apprécié des sujets. Le VIP 4 est celui qui a obtenu le plus de premières places avec 7 sur les 17 tests. Il est suivi de près par le VIP 2 avec six premières places et une note globale de 3,5 sur 5. Les VIP 1 et 5 ont respectivement une et trois premières places, mais ils ont la même note globale soit : 3,1 sur 5.

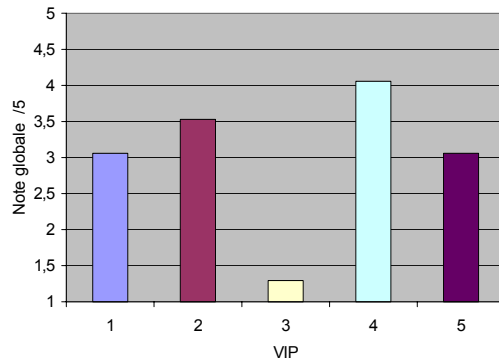


Figure 4.2 Note globale des VIP pour les 17 tests d’appréciations subjectives du confort en fonction de leur rang à chacun des tests où la première position représente la note la plus élevée.

## 4.2 Les résultats des tests de marche sur le tapis roulant environnement tempéré

### 4.2.1 Contrôle des conditions environnementales

L’environnement est une des variables extrinsèques qui devait être contrôlée afin d’assurer la validité du test. Pour ce faire, la température et l’humidité relative de la pièce devaient demeurer constantes entre les évaluations. Ces deux variables étaient recueillies chaque minute et des ajustements étaient apportés immédiatement si les conditions environnementales changeaient. Pour chacun des tests, 21 mesures étaient prises en note et la moyenne de ces dernières était calculée afin de comparer les tests entre eux. Le tableau 4.3 présente les résultats des analyses statistiques réalisées à partir de ces valeurs moyennes. Une seule différence significative apparaît dans ce tableau. Cette différence se retrouve avec l’humidité relative et elle est présente pour le facteur lavage.

Tableau 4.3 Résultats des analyses statistiques pour les facteurs lavage, VIP et leur interaction avec une correction Huynh-Feldt des conditions environnementales pour les tests de marche en environnement tempéré (\* $p < 0,05$ )

Variables extrinsèques	Lavage	VIP	Lavage*VIP
Température	0,305	0,163	0,488
Humidité relative	<b>0,029*</b>	0,859	0,828

Pour faire suite aux résultats de l'analyse statistique, les figures 4.3 et 4.4 présentent les données moyennes pour les facteurs lavage et VIP. Les deux figures démontrent bien la stabilité de la température de la pièce lors des tests. La température moyenne des tests en environnement tempéré était de 21,1°C ( $\pm 0,2^\circ\text{C}$ ). Au niveau de l'humidité relative, la variation de 12 % observée sur la figure 4.5 démontre que les VIP neufs et lavés n'étaient pas évalués dans des conditions similaires. Toutefois, on ne dénote aucune différence significative pour le facteur VIP présenté sur la figure 4.6. Lors du test de marche en environnement tempéré, les valeurs moyennes d'humidité relative étaient de 48,7 % ( $\pm 9,8\%$ ).

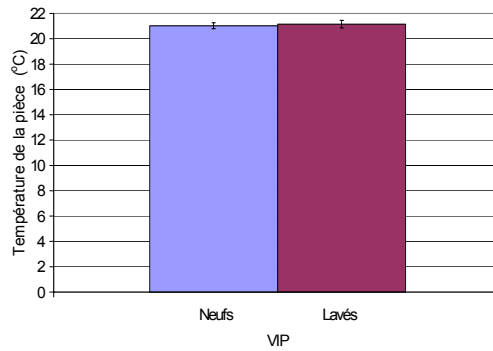


Figure 4.3 Température de la pièce, en environnement tempéré pour le facteur lavage.

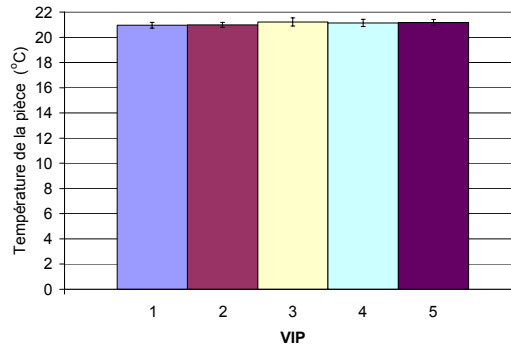


Figure 4.4 Température de la pièce, en environnement tempéré pour le facteur VIP.



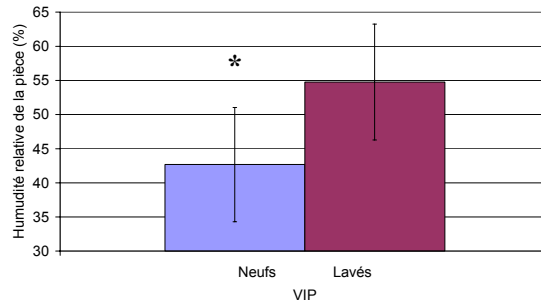


Figure 4.5 Humidité relative de la pièce, en environnement tempéré pour le facteur lavage (\* $p < 0,05$ ).

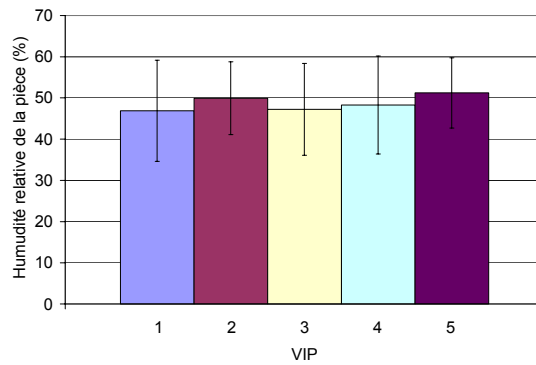


Figure 4.6 Humidité relative de la pièce, en environnement tempéré pour le facteur VIP.

### 4.2.2 Fréquence cardiaque

La figure 4.7 présente un exemple du comportement de la Fc des cinq sujets pour la condition du VIP 2 neuf en environnement tempéré. Selon ces résultats, la Fc augmente de façon logarithmique dans les premières secondes du test et de façon beaucoup plus linéaire par la suite. Pour éliminer les variations importantes qui sont présentées au début des tests, l'analyse de la Fc était considérée à partir de la troisième minute. Cette troisième minute représente le temps initial de l'analyse (0 %) et la vingtième minute correspond au temps final (100 %). Par conséquent, l'analyse statistique est comprise entre la 3<sup>e</sup> et la 20<sup>e</sup> minute inclusivement. La figure 4.8 présente la variation de la Fc qui semble importante avec l'intervalle de seulement cinq secondes entre les échantillons. Afin d'éviter de faire l'analyse avec des données non représentatives, des droites de régression ont été utilisées pour représenter le comportement de la Fc dans le temps. Ces droites présentent une augmentation plus stable de la Fc. L'ensemble de ces droites a une corrélation ( $R^2$ ) moyenne de 0,9432 et un écart-type de 0,038. Cette moyenne et cet écart type, qui comprennent aussi les tests effectués en ambiance chaude, démontrent bien que les droites sont très représentatives des données brutes tout en enlevant les fluctuations non représentatives obtenues avec des échantillons trop rapprochés.

Pour l'analyse statistique de la Fc, les données ont été prises à la 180<sup>e</sup> seconde (0 %), à la 384<sup>e</sup> seconde (20 %), à la 588<sup>e</sup> seconde (40 %), à la 792<sup>e</sup> seconde (60 %), à la 996<sup>e</sup> seconde (80 %) et à la 1200<sup>e</sup> seconde (100 %). Le tableau 4.4 présente les résultats des analyses statistiques pour les six temps relatifs qui ont été retenus. Afin de les comparer aux droites provenant des régressions, les résultats des Fc réelles sont aussi présentés dans ce tableau. Ainsi, il est possible de voir quelle est l'influence de la variation des Fc réelles sur les analyses statistiques. Même si les deux séries de données présentent des résultats significatifs, les analyses avec les droites de régression présentent plus de constance et elles évitent d'analyser des valeurs qui ne suivent pas la tendance générale de la variable.

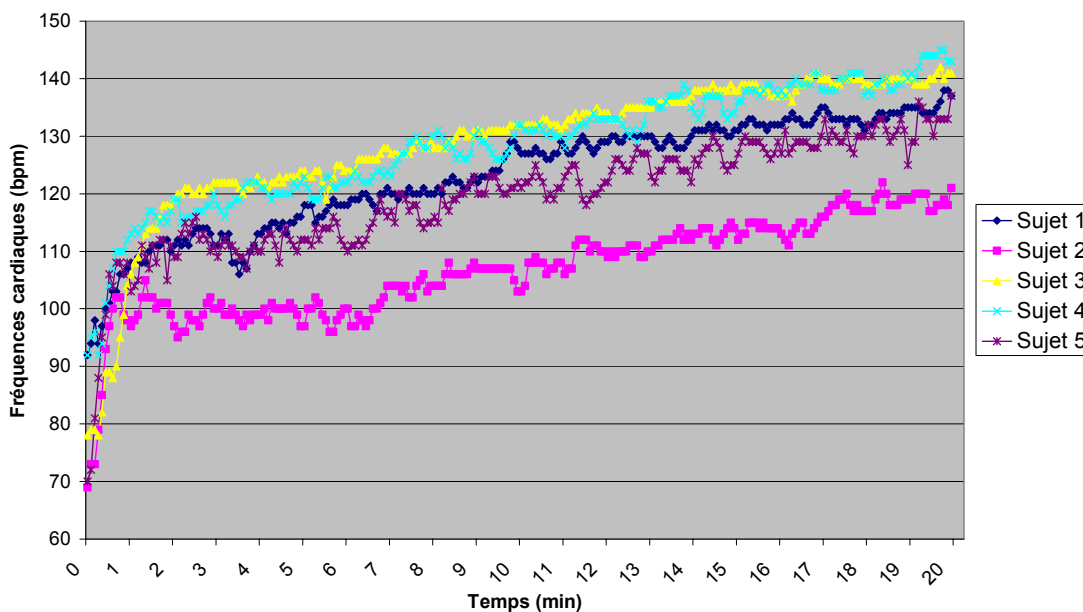


Figure 4.7 Représentation brute des résultats de la fréquence cardiaque pour les 5 sujets lors du test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré avec le port du VIP 2.

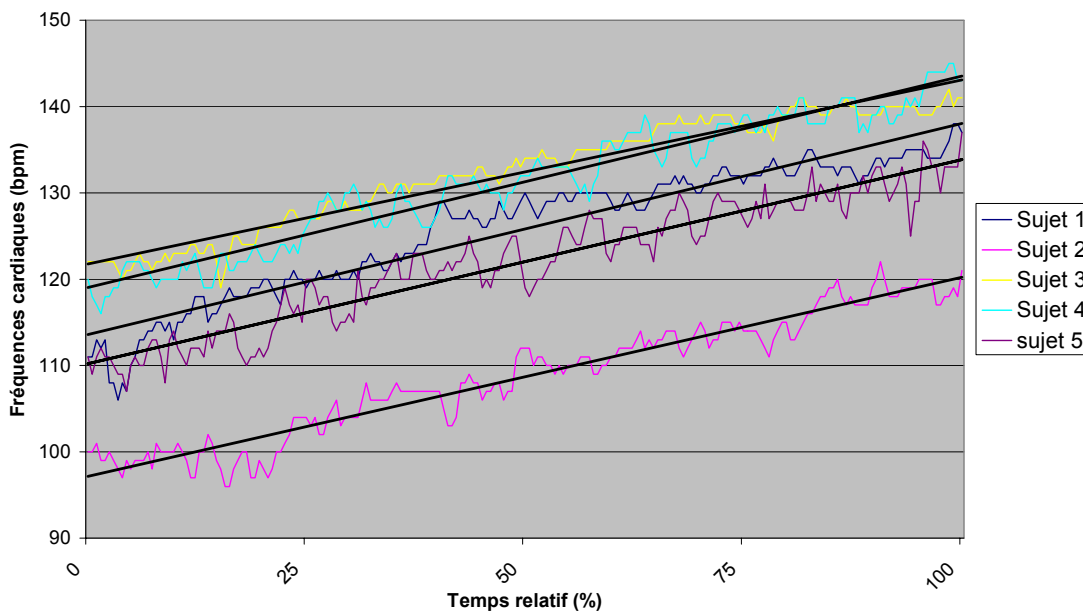


Figure 4.8 Représentation des droites de régression linéaire utilisées pour prédire la fréquence cardiaque des 5 sujets lors du test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré avec le port du VIP 2.

Tableau 4.4 Résultats des analyses statistiques pour les facteurs lavage et VIP ainsi que leur interaction avec une correction Huynh-Feldt de la Fc réelle et calculée avec une droite de régression pour les tests de marche en environnement tempéré (\* $p < 0,05$ )

Temps	Fc réelles			Fc calculée avec les droites de régressions		
	Lavage	VIP	Lavage*VIP	Lavage	VIP	Lavage*VIP
0 %	<b>0,026 *</b>	0,156	0,165	0,076	0,282	0,135
20 %	0,168	0,351	0,231	0,060	0,306	0,196
40 %	<b>0,040*</b>	0,302	0,549	<b>0,050 *</b>	0,318	0,273
60 %	0,081	0,199	0,454	<b>0,045 *</b>	0,316	0,367
80 %	<b>0,031*</b>	0,291	0,590	<b>0,042 *</b>	0,302	0,477
100 %	0,057	0,317	0,545	<b>0,041 *</b>	0,278	0,595

La figure 4.9 montre l'évolution de la Fc à tous les temps observés pour le facteur lavage lorsque la Fc est estimée à partir des droites de régression. Cette figure permet de constater que le lavage diminue significativement la Fc à partir du temps relatif 40 % et que l'écart semble s'accroître avec la fin du test de marche. D'ailleurs, la différence pour le facteur lavage, entre les Fc au temps relatif de 0 % est de 3,1 bpm alors qu'elle est de 5,7 bpm à la fin du test. Par contre, comme il est présenté sur le tableau 5.3, il n'est pas possible d'isoler l'effet du lavage sur un seul VIP puisque l'interaction lavage\*VIP n'est pas significative. Comme il a été démontré sur le tableau 4.3, le facteur VIP n'obtient pas de différence significative. La figure 4.10 présente tout de même un aperçu de la tendance des valeurs qui a été obtenue pour ce facteur. Selon cette figure, les quatre premiers VIP semblent imposer la même contrainte au niveau de la Fc tandis que le VIP 5 semble moins exigeant. Pour les six intervalles temporels, le VIP 5 est toujours le moins exigeant au niveau de la Fc, mais ces différences ne sont pas statistiquement significatives. De façon plus générale, les tests de marche en environnement tempéré ont entraîné une augmentation de 23 bpm de la valeur moyenne entre les temps relatifs 0 % et 100 %.

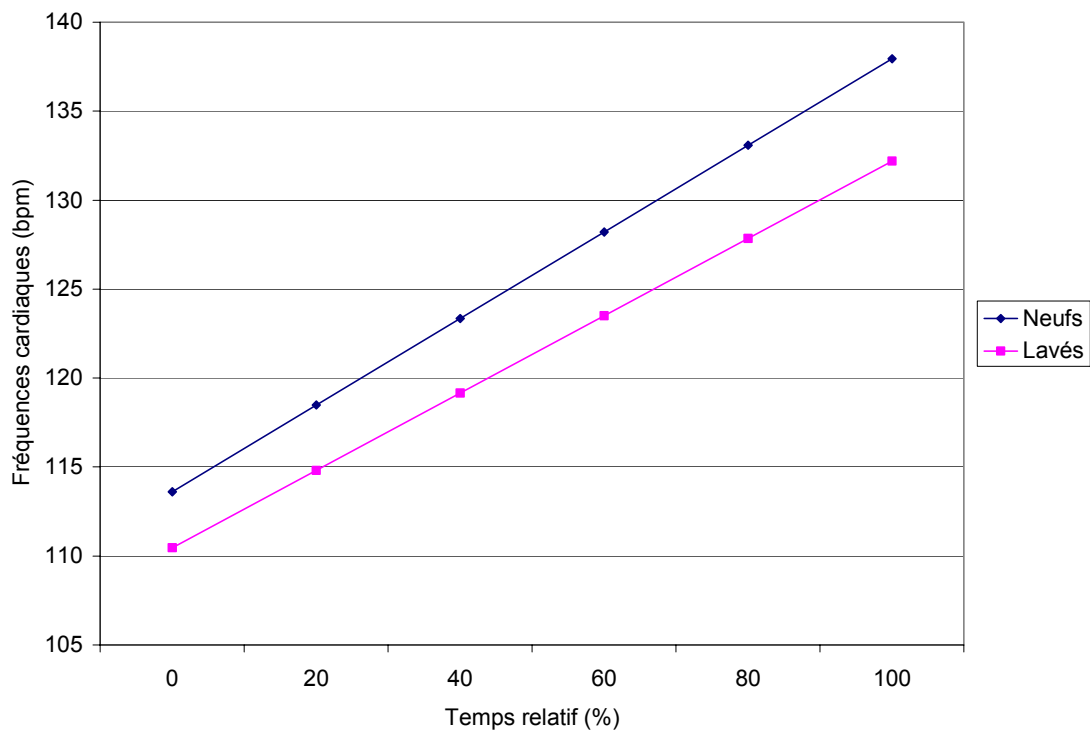


Figure 4.9 Évolution de la Fc dans le temps, Fc calculée à partir des droites de régressions pour le facteur lavage.

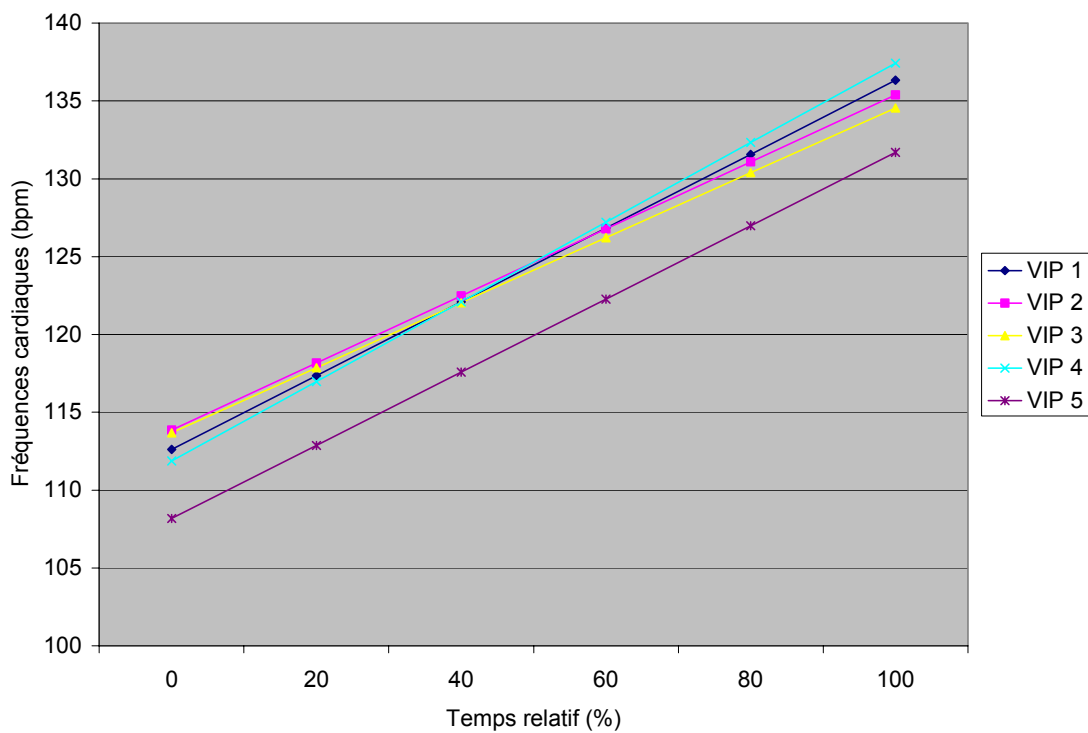


Figure 4.10 Évolution de la Fc dans le temps, Fc calculée à partir des droites de régressions pour le facteur VIP.

### 4.2.3 Coût cardiaque

Contrairement à la Fc absolue, le CC a l'avantage de tenir compte de la condition physique initiale du sujet (Fc au repos) avant le début de chaque test. Pour l'analyse statistique, la transformation de la Fc en coût cardiaque ne changera pas les coefficients de corrélation des droites de régression puisqu'il s'agit simplement de retirer une constante pour obtenir la nouvelle équation de la droite. Le tableau 4.5 présente l'analyse statistique du CC calculé avec les droites de régression. Selon ces résultats, le calcul du CC permet au facteur lavage d'avoir des différences significatives pour tous les temps analysés. Cependant, cette transformation ne permet pas d'obtenir des différences significatives pour le facteur VIP et l'interaction lavage\*VIP, mais on remarque quand même que les valeurs de la probabilité tendent à diminuer pour le facteur VIP.

Tableau 4.5 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt du CC calculé avec une droite de régression durant les tests de marche en environnement tempéré pour les facteurs lavage et VIP ainsi que leur interaction (lavage\*VIP) (\* $p < 0,05$ ).

Temps	CC calculé avec les droites de régressions		
	Lavage	VIP	Lavage*VIP
0 %	<b>0,047*</b>	0,276	0,080
20 %	<b>0,041*</b>	0,283	0,130
40 %	<b>0,036*</b>	0,276	0,200
60 %	<b>0,033*</b>	0,255	0,27
80 %	<b>0,030*</b>	0,222	0,321
100 %	<b>0,029*</b>	0,183	0,349

La figure 4.11 présente l'évolution du CC dans le temps pour le facteur lavage. Le lavage entraîne une diminution de 4,6 bpm au temps relatif de 0 %. Cette différence s'accroît pendant le test pour atteindre 6,2 bpm au temps relatif de 100 %. L'effet du facteur VIP sur le CC lors d'un test de marche en environnement tempéré est représenté sur la figure 4.12. Cette dernière présente l'augmentation constante du CC durant le test pour tous les VIP. Le VIP 1 cause les CC les plus élevés pour tous les temps avec des valeurs qui atteignent 82,2 bpm au temps relatif 100 %, alors que le VIP 5 obtient les CC les plus bas pour la période de 0 à 100 %. Toutefois au temps relatif de 100 %, l'avantage de ce dernier est de 0,3 bpm seulement sur le VIP 3. Les valeurs les plus basses du CC à ce temps relatif étaient de 75,9 bpm alors qu'elles étaient de 51,2 bpm au temps 0 %. L'augmentation de cette variable durant le test était de 24 bpm.

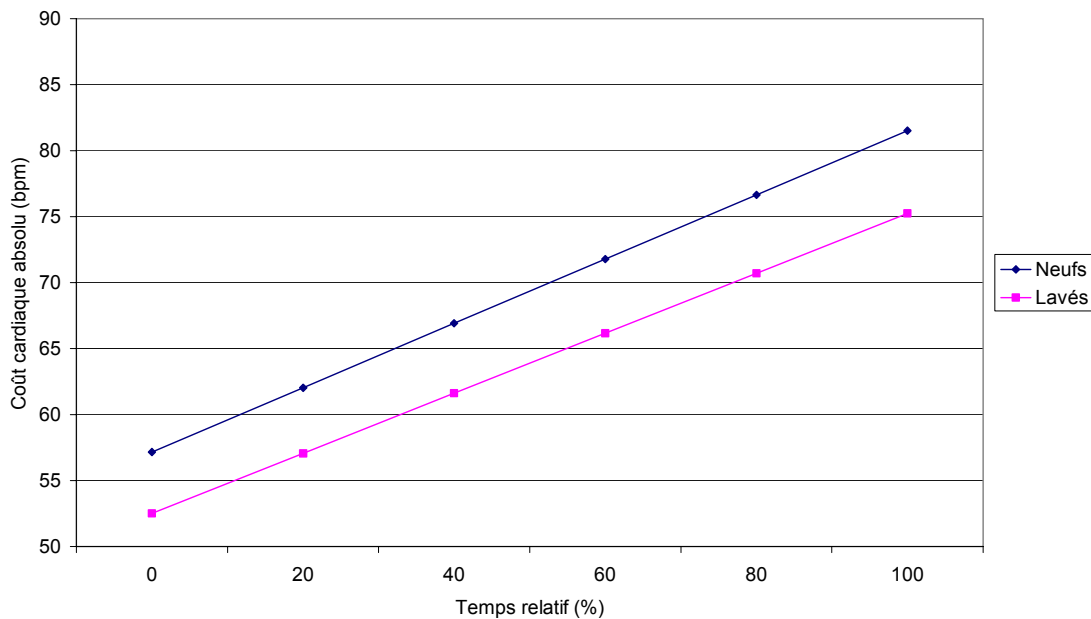


Figure 4.11 Évolution du CC dans le temps, CC calculé à partir des droites de régressions pour le facteur lavage.

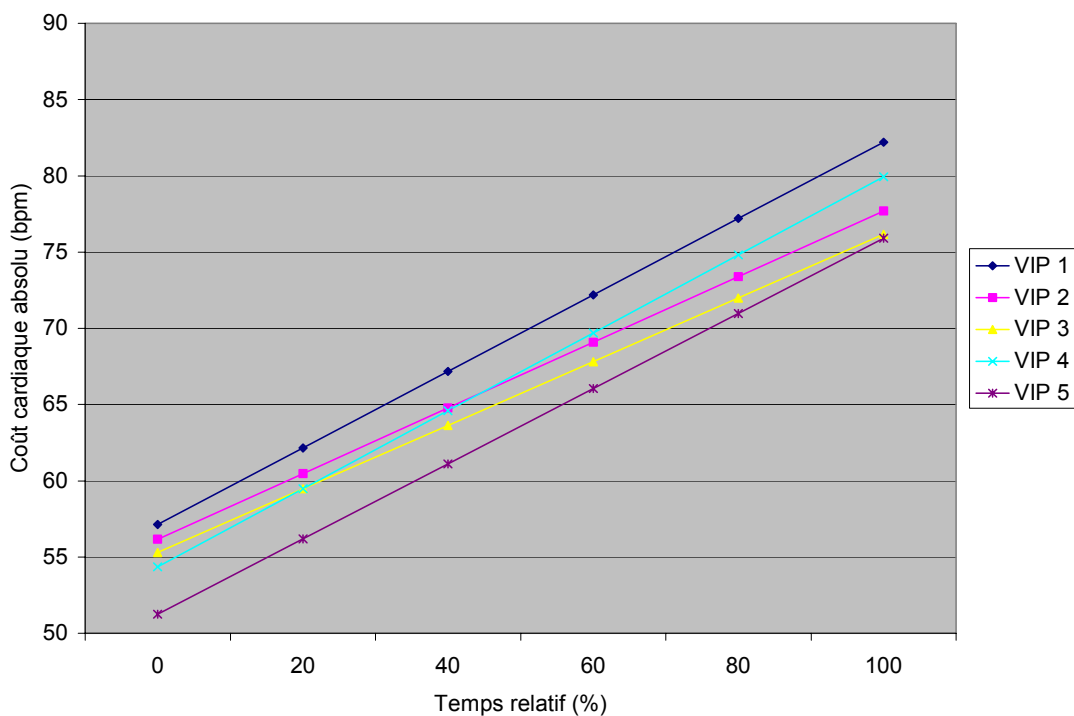


Figure 4.12 Évolution du CC dans le temps durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré, CC calculé à partir des droites de régressions pour le facteur VIP.



### 4.2.4 Consommation d'oxygène

La consommation d'oxygène ne présente pas la même adaptation que la Fc lors de l'exercice. En effet, certains sujets ont présenté des variations importantes des valeurs de la consommation d'oxygène mesurées d'un échantillon à l'autre. Pour enlever cette variation, les données ont été moyennées avec l'écart type calculé. Ces valeurs ont ensuite servi à enlever toutes les données qui étaient supérieures ou inférieures à deux écarts types. Cette moyenne et cet écart type ont été calculés à partir de la 3<sup>e</sup> minute jusqu'à la 20<sup>e</sup> minute puisque c'est à ce moment que les valeurs devaient avoir atteint un plateau. En tout, 128 mesures sur 3300 ont été retirées. La figure 4.13 présente un exemple des données du sujet 5 lorsqu'il a effectué le test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré avec le VIP 2 neuf. Cette figure présente les données avant et après que les valeurs se retrouvant à plus de deux écarts types de la moyenne soient retirées. À la suite de cette opération, l'artefact présent à la 6<sup>e</sup> minute et demie est retiré avant l'analyse statistique. La figure 4.14 représente la consommation d'oxygène moyenne des cinq sujets durant les tests de marche sur tapis roulant en environnement tempéré. Les 20 minutes du test sont comprises sur cette figure qui représente les valeurs des facteurs lavage et VIP. Elle démontre aussi que la VO<sub>2</sub> augmente durant les premières minutes pour atteindre un plateau maintenu jusqu'à la fin du test.

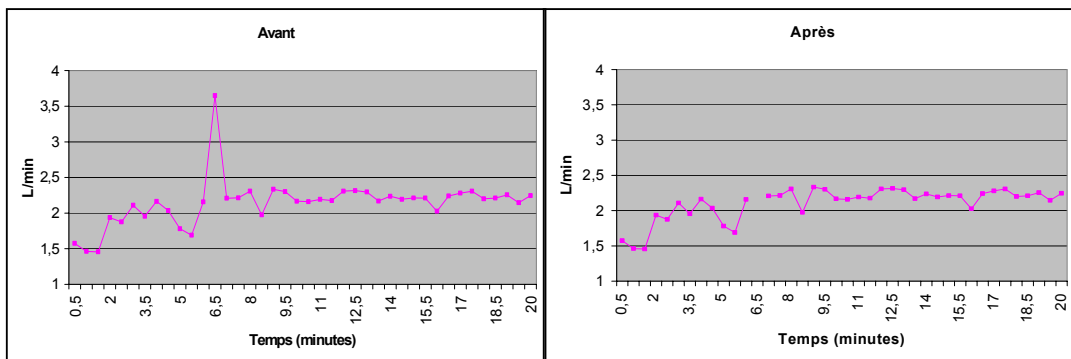


Figure 4.13 Évolution de la consommation d'oxygène moyenne (L/min) du sujet 5 avec le VIP 2 neuf durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré. a) avant que les données soient retirées b) après que les données soient retirées.

Le plateau présent entre la 3<sup>e</sup> et la 20<sup>e</sup> minute aurait pu être analysé comme un tout, mais pour faire l'analyse statistique, seulement les trois dernières minutes de l'activité ont été prises en considération. De cette façon, si l'exercice a entraîné une légère augmentation durant l'exercice, celle-ci est prise en considération dans l'analyse statistique. Le tableau 4.6 présente les résultats de cette analyse statistique de la VO<sub>2</sub>. Tout comme la Fc et le CC, la différence significative se retrouve seulement au niveau du facteur lavage.

Tableau 4.6 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de la VO<sub>2</sub> durant les trois dernières minutes des tests de marche en environnement tempéré pour les facteurs lavage et VIP ainsi que leur interaction (lavage\*VIP) (\**p*<0,05)

Consommation d'oxygène		
Lavage	VIP	Lavage*VIP
<b>0,004*</b>	0,385	0,276

La figure 4.15 présente la différence de la consommation d'oxygène mesurée pour le facteur lavage. Selon ces résultats, le facteur lavage a causé une diminution de la consommation d'oxygène de l'ordre de 0,11 L/min. Cette diminution concorde avec les tendances obtenues pour la Fc et le CC. La figure 4.16 présente les données retenues pour l'analyse statistique, mais cette dernière n'a pas révélé de différence significative. On remarque que le VIP 5 présente un léger avantage non significatif sur les autres VIP avec une baisse de 0,07 L/min par rapport au VIP le plus coûteux, le VIP 4.

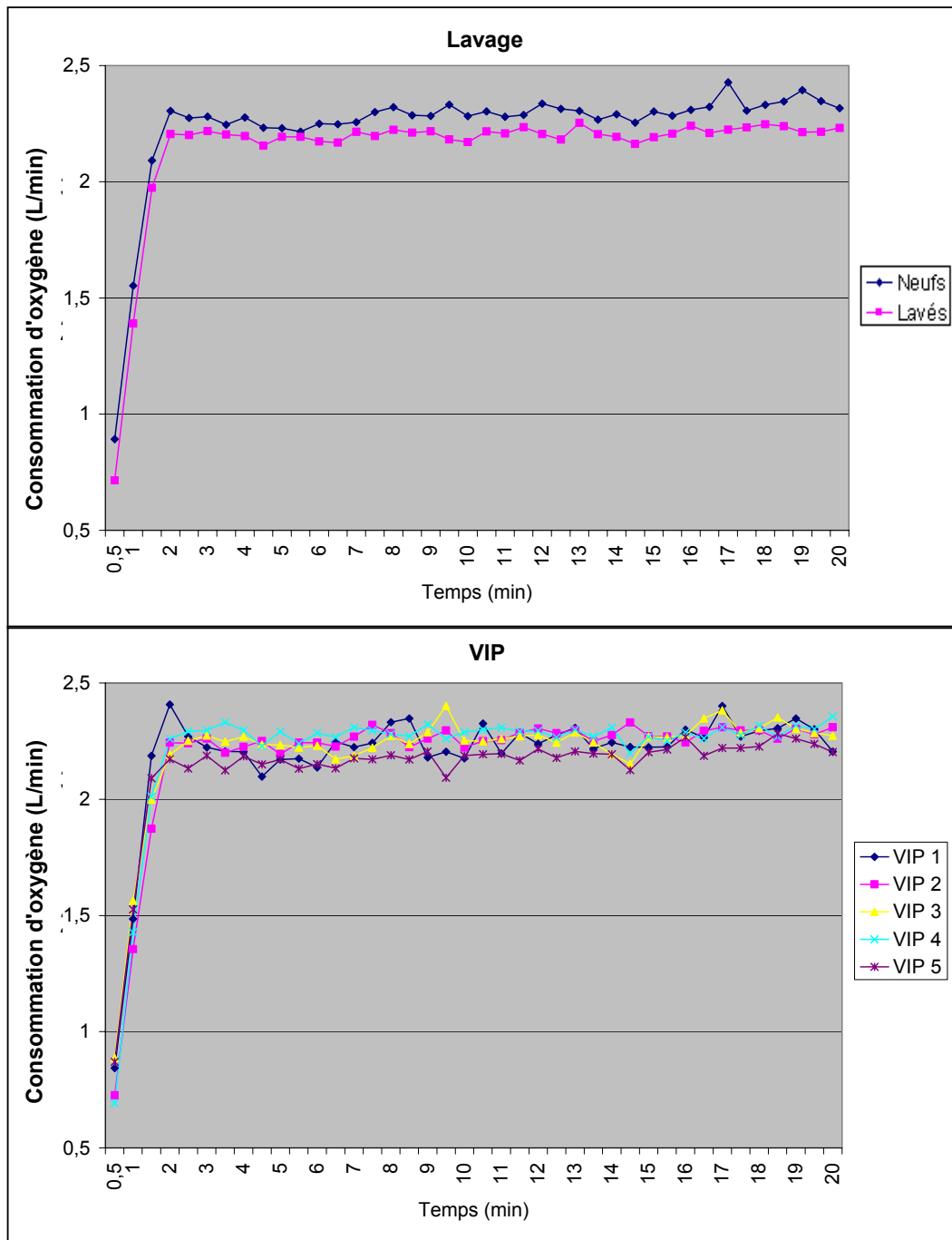


Figure 4.14 Évolution de la consommation d'oxygène moyenne des 5 sujets pour le facteur lavage et le facteur VIP durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré.

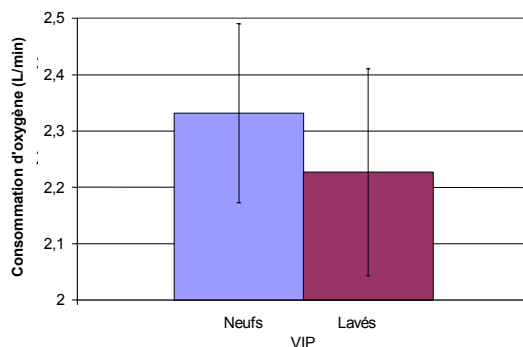


Figure 4.15 Consommation d'oxygène moyenne du sujet pour le facteur lavage durant les trois dernières minutes du test de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré.

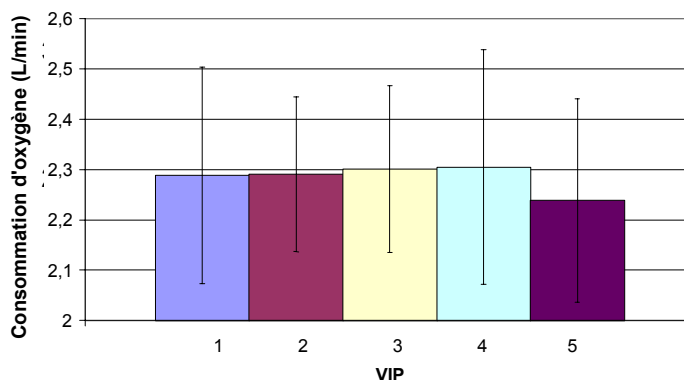


Figure 4.16 Consommation d'oxygène moyenne du sujet pour le facteur VIP durant les trois dernières minutes du test de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré.

### 4.2.5 La température cutanée

Les valeurs mesurées au niveau de la température cutanée sont présentées sur la figure 4.17 qui représente la température cutanée moyenne des cinq sujets pour les facteurs lavage et VIP. Le comportement des différentes courbes présentées démontre bien que la température cutanée augmente continuellement durant le test. En moyenne, elle passe de 33,4°C à 36,1°C. Toutefois, les données n'ont pas atteint de plateau et elles ne suivent pas une droite linéaire. Ainsi, les analyses statistiques ont été faites pour la période correspondant à la fin des tests. Les valeurs prises à la vingtième minute correspondent au temps relatif de 100 %. Ces analyses sont présentées dans le tableau 4.7. Les résultats des analyses ne démontrent aucune différence significative pour cette variable dépendante.

Tableau 4.7 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de la température cutanée à la 20<sup>e</sup> minute des tests de marche en environnement tempéré pour les facteurs lavage et VIP ainsi que leur interaction (lavage\*VIP) (\* $p < 0,05$ )

Température cutanée		
Lavage	VIP	Lavage*VIP
0.233	0.775	0.524

Les figures 4.18 et 4.19 présentent les moyennes et les écarts types des facteurs lavage et VIP. Ces figures démontrent que l'effet bénéfique du facteur lavage n'est plus présent et que c'est plutôt une légère augmentation de 0,2°C pour atteindre 36,2 °C qui est présente. Par contre, cette augmentation n'est pas significative. Pour ce qui est du facteur VIP, les différences entre les VIP ne sont pas significatives et la plus grande différence entre 2 VIP est de seulement 0,22°C. Le VIP 3 présente la plus basse température moyenne mesurée avec 35,95°C.

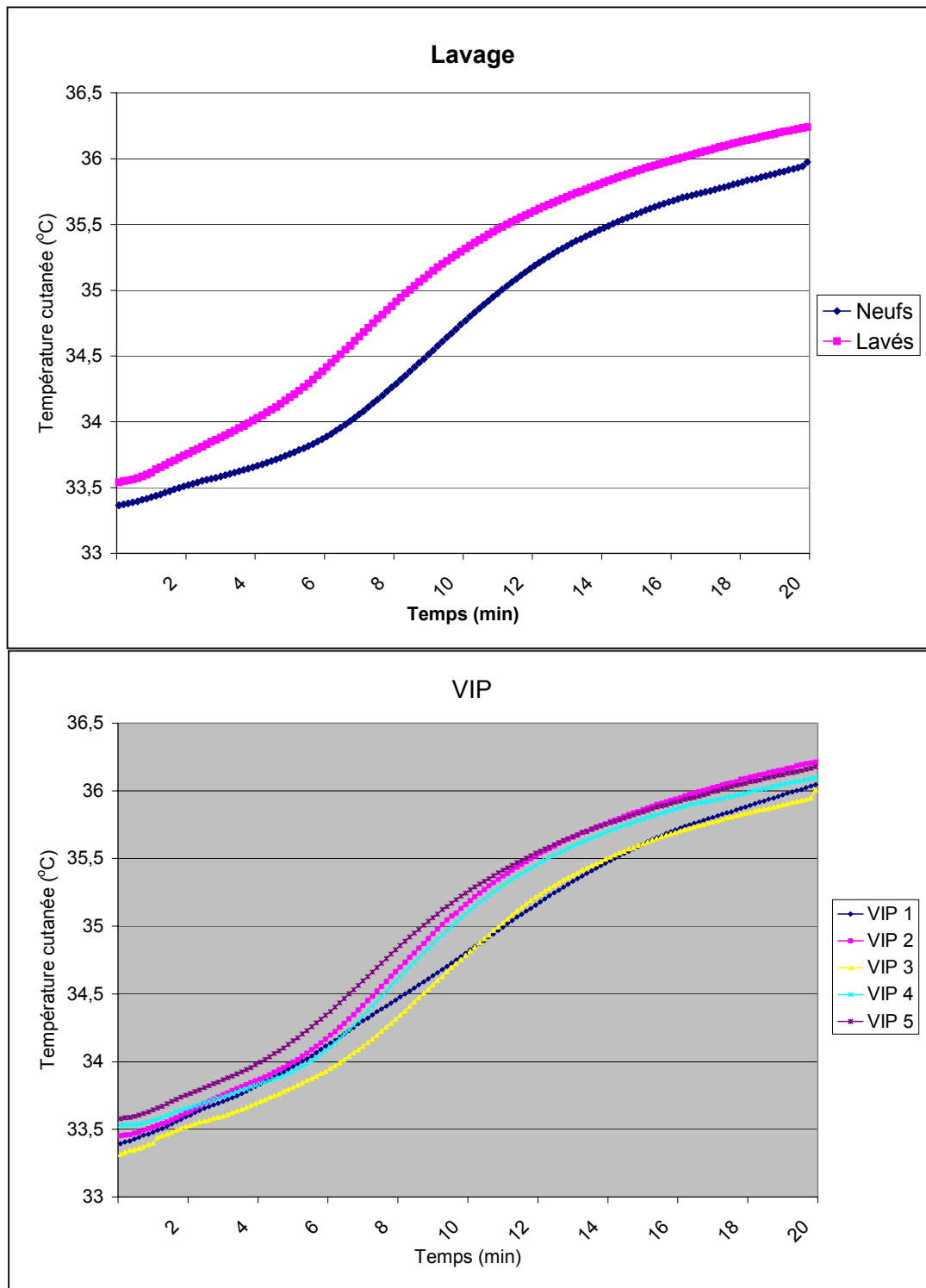


Figure 4.17 Évolution de la température cutanée moyenne des 5 sujets pour le facteur lavage et le facteur VIP durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré.

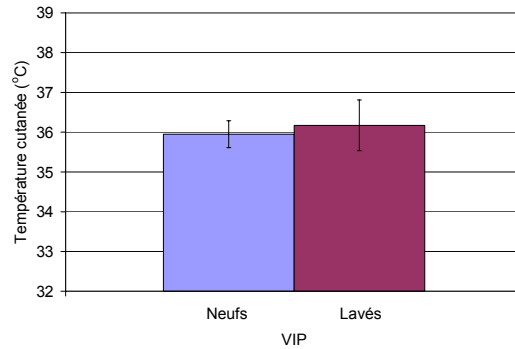


Figure 4.18 Température cutanée moyenne des sujets pour le facteur lavage durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré.

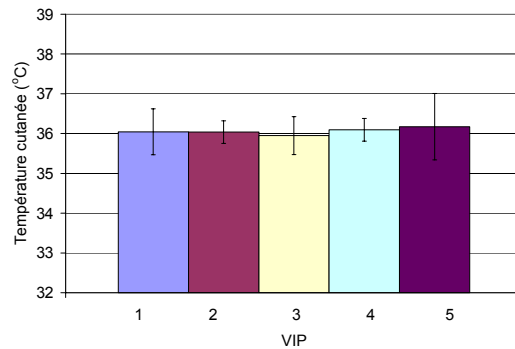


Figure 4.19 Température cutanée moyenne des sujets pour le facteur VIP durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré.

### 4.2.6 Évaluation psychophysique

Tel que mentionné précédemment, l'évaluation psychophysique a été mesurée grâce à l'échelle de Borg 6-20 et les sujets devaient donner leur perception de l'effort à toutes les minutes y compris une mesure juste avant de commencer le test au moment où ils étaient immobiles en position debout. La figure 4.20 présente l'évolution de la perception qu'ont les sujets de l'effort durant les tests de marche en environnement tempéré. Cette figure comprend la représentation des facteurs lavage et VIP. En moyenne, le début des tests a obtenu la note de 6,1 qui sur l'échelle, correspond à la situation : « repos, aucun effort ». Durant les tests, la cote des sujets augmente pour atteindre à la fin du test une valeur moyenne de 10,7. Cette cote « 11 » représente un niveau d'effort « modéré ». Le tableau 4.8 en présente l'analyse statistique de cette variable qui a été faite pour la dernière mesure. Encore une fois, la seule différence de cette variable dépendante se retrouve au niveau du facteur lavage.



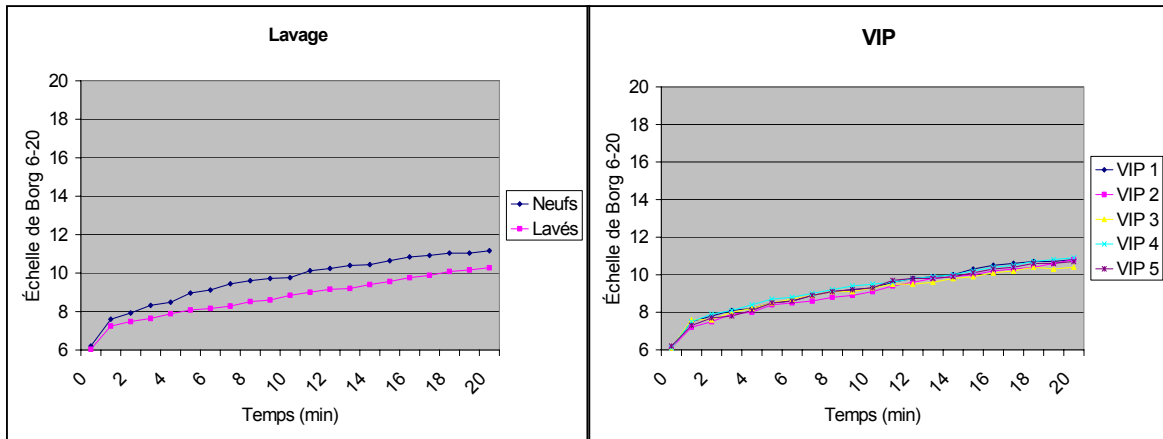


Figure 4.20 Évolution de l'évaluation psychophysique des sujets pour le facteur lavage et le facteur VIP durant le test de marche de 20 minutes sur le tapis roulant en environnement tempéré.

Tableau 4.8 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de l'évaluation psychophysique à la 20<sup>e</sup> minute des tests de marche en environnement tempéré pour les facteurs lavage, VIP et leurs interactions (lavage\*VIP) (\* $p < 0,05$ )

Évaluation psychophysique		
Lavage	VIP	Lavage*VIP
<b>0.024*</b>	0.727	0.280

La figure 4.21 présente la distribution du facteur lavage qui a comme valeur moyenne 11,16 pour la condition « neufs » et 10,28 pour la condition « lavés ». Cette figure démontre que l'effet du lavage cause une diminution de l'appréciation subjective de l'effort. Même s'il ne présente pas de différences significatives, le facteur VIP est présenté sur la figure 4.22. Les cotes moyennes obtenues pour le facteur VIP varient entre 10,4 pour le VIP 3 et 10,9 pour le VIP 4.

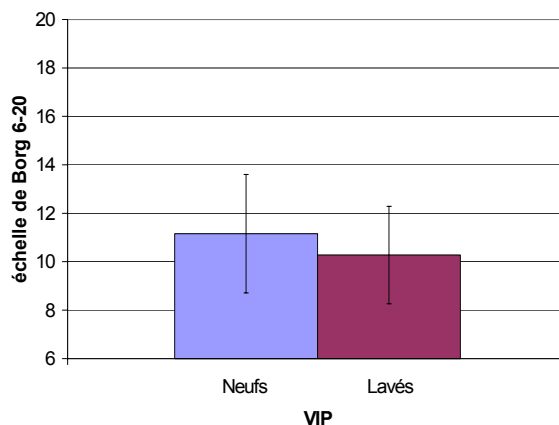


Figure 4.21 Évaluation psychophysique faite par les sujets pour le facteur lavage durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré.

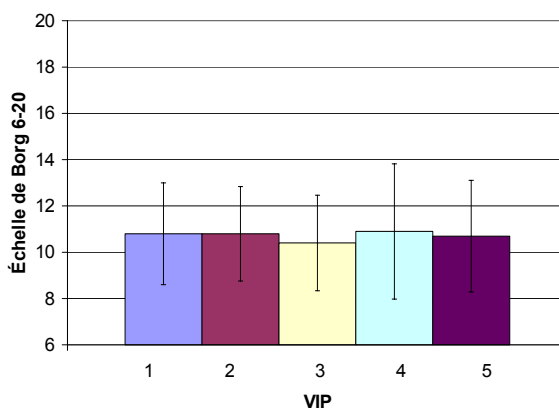


Figure 4.22 Évaluation psychophysique faite par les sujets pour le facteur VIP durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement tempéré.

### 4.3 Les résultats des tests de marche sur le tapis roulant en environnement chaud

#### 4.3.1 Contrôle des conditions environnementales

Les tests de marche en environnement chaud ont été réalisés dans une chambre isolée afin de contrôler la température et l’humidité. Tout comme l’environnement tempéré, la première analyse de cette section concerne la température et l’humidité de la pièce pour s’assurer de leurs constances lors des tests. Les statistiques ont été réalisées de la même façon qu’en environnement tempéré et les résultats sont présentés sur le tableau 4.9. Ces résultats ne démontrent aucune différence significative.

Tableau 4.9 Résultats des analyses statistiques pour les facteurs lavage, VIP et leurs interactions avec une correction Huynh-Feldt des conditions environnementales pour les tests de marche en environnement chaud (\* $p < 0,05$ )

Variables extrinsèques	Lavage	VIP	Lavage*VIP
Température	0,368	0,913	0,186
Humidité relative	0,111	0,592	0,975

La variation de la température de la pièce pour le facteur lavage en environnement chaud est présentée sur la figure 4.23. Entre les conditions « neufs et lavés » de ce facteur, la variation moyenne est de 0,15°C. La figure 4.24 présente les données du facteur VIP sur la température de la pièce. Les variations entre les conditions du facteur VIP sont encore moindres que celles du facteur lavage. Aux extrémités, on retrouve la température de la pièce moyenne la plus élevée pour le VIP 3 avec 40,94°C ( $\pm 0,14^\circ\text{C}$ ) et la moins élevée pour le VIP 2 avec 40,81°C ( $\pm 0,45^\circ\text{C}$ ). Pour l’ensemble des tests, la température moyenne de la pièce fut 40,87°C ( $\pm 0,4^\circ\text{C}$ ). Dans la chambre isolée, l’humidité fut beaucoup plus facile à contrôler puisque le volume de la pièce était plus petit qu’en environnement tempéré. Contrairement à l’environnement tempéré, les valeurs de cette variable extrinsèque n’ont présenté aucune différence significative pour les tests en environnement chaud. Les valeurs de l’humidité relative pour les facteurs lavage et VIP sont présentées sur les figures 4.25 et 4.26 respectivement. Durant les tests, l’humidité relative a été maintenue à une valeur moyenne de 71,7 % ( $\pm 2,3$  %). Cette constance présentée sur les figures 4.23 à 4.26 démontre que la température et l’humidité relative de la pièce furent très bien contrôlées durant les tests en environnement chaud.

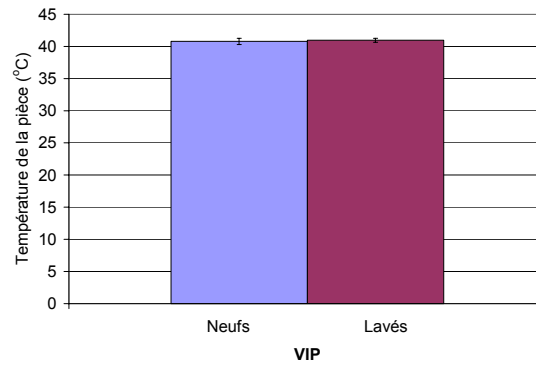


Figure 4.23 Température de la pièce, en environnement chaud pour le facteur lavage.

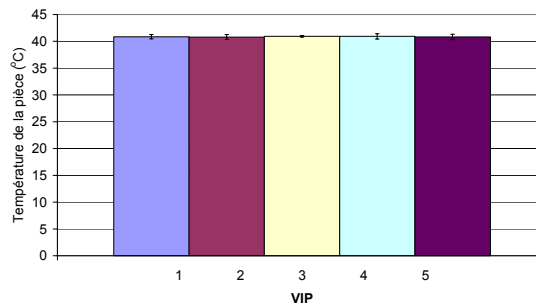


Figure 4.24 Température de la pièce, en environnement chaud pour le facteur VIP.

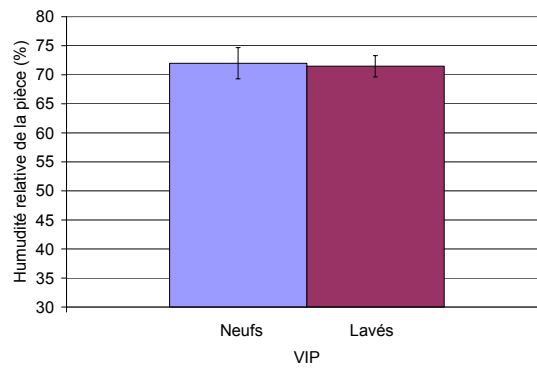


Figure 4.25 Humidité relative de la pièce, en environnement chaud pour le facteur lavage.

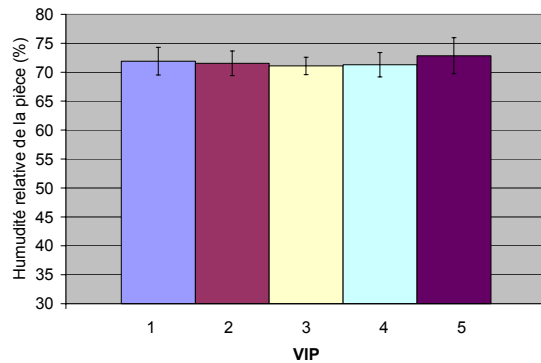


Figure 4.26 Humidité relative de la pièce, en environnement chaud pour le facteur VIP.

### 4.3.2 Fréquence cardiaque

Lors des tests en environnement chaud, la Fc a eu une réponse similaire à celle obtenue en environnement tempéré. Toutefois, si les données du test en environnement tempéré ont été présentées en pourcentage de temps plutôt qu'en temps réel, pour certains sujets, un réajustement a dû être fait sur la durée des tests en environnement chaud. Ceci est dû à certains sujets qui ont atteint 85 % de leur Fc maximale avant la fin des 20 minutes prévues pour les tests. Cette valeur de la Fc était considérée comme un des critères d'arrêt pour assurer la sécurité des participants. Ce qui implique que le temps total du test n'était plus de 20 minutes pour l'ensemble des sujets. La figure 4.27 présente le comportement de la Fc des cinq sujets pour le test de marche en ambiance chaude avec le VIP 1 lavé. Durant ce test, le sujet 4 n'a pas terminé la tâche puisqu'il a atteint 85 % de sa Fc maximale à la 13<sup>e</sup> minute. Alors que, pour ce test, les quatre autres sujets ont terminé le test à la 20<sup>e</sup> minute. Cette situation a créé une inégalité entre les durées des prises de mesures. Durant toute la durée de l'expérimentation, les tests ont été arrêtés avant la fin pour deux sujets : le sujet 1 et le sujet 4. Ces arrêts sont survenus à quelques occasions et les VIP n'étaient pas toujours les mêmes. À la suite de ces résultats, une décision a été prise et les valeurs de tous les sujets ont été transformées en fonction du pourcentage de temps. Par exemple, pour tous les tests (VIP 1 à 5 neufs et lavés) du sujet 4 en environnement chaud, les données acquises après la 13<sup>e</sup> minute n'ont pas été considérées. Le temps 0 % du sujet 4 est donc de trois minutes comme les autres sujets, mais son temps 100 % correspond à la treizième minute pour toutes les conditions. Pour le sujet 1, la durée maximale des tests correspond à la quatorzième minute qui représente son temps 100 %. Pour les trois autres sujets, le 100 % de leur temps correspond toujours à la 20<sup>e</sup> minute du test. Ces modifications aux tests des sujets sont valables pour toutes les variables dépendantes.

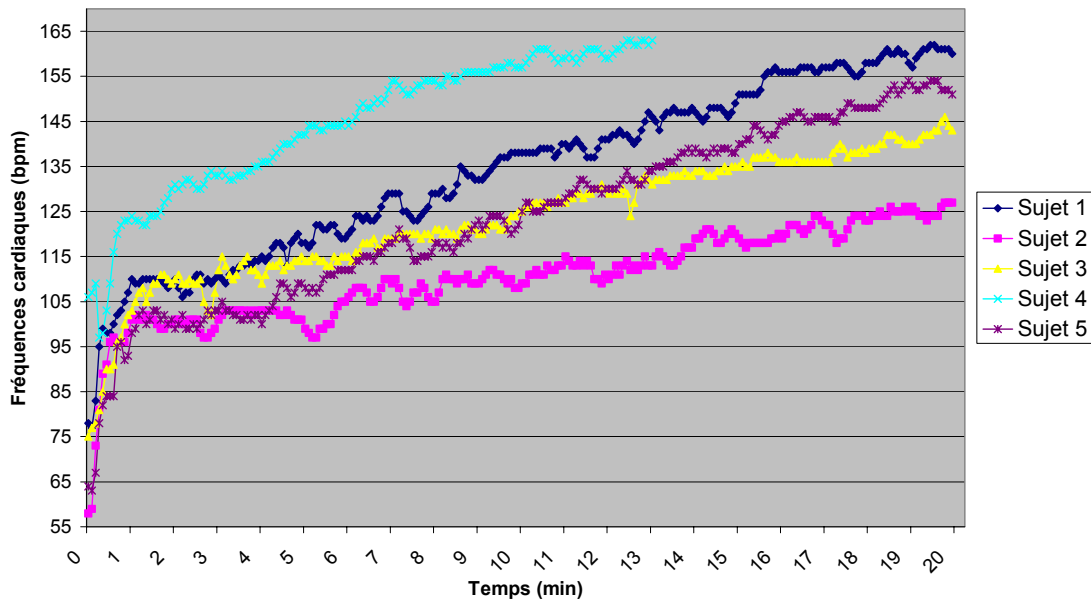


Figure 4.27 Représentation brute des résultats de la fréquence cardiaque pour les cinq sujets lors du test de marche sur tapis roulant en environnement chaud avec le port du VIP 1.

Tout comme le test en environnement tempéré, les données de la Fc ont été corrigées à l’aide des droites de régression et l’analyse statistique a été faite à l’aide de ces dernières. Le tableau 4.10 présente les analyses statistiques de ces tests. Le tableau démontre que la seule différence significative pour cette variable se situe encore une fois au niveau du lavage. L’interaction lavage\*VIP présente aussi des P-valeurs basses, mais elles ne sont pas toujours significatives.

Tableau 4.10 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de la Fc calculée avec une droite de régression pour les tests de marche en environnement chaud pour les facteurs lavage, VIP et leur interaction (\* $p < 0,05$ )

Temps	Fc calculée avec les droites de régressions		
	Lavage	VIP	Lavage*VIP
0 %	0,087	0,102	0,052
20 %	0,054	0,114	0,061
40 %	<b>0,032*</b>	0,171	0,071
60 %	<b>0,020*</b>	0,172	0,084
80 %	<b>0,012*</b>	0,207	0,101
100 %	<b>0,008*</b>	0,247	0,136

La représentation graphique des données du facteur lavage pour les temps relatifs de 0 à 100 % se retrouve sur la figure 4.28. En environnement chaud, la condition « lavés » cause une diminution de la Fc. Durant ces tests, la différence entre les deux conditions du facteur lavage

s'est toujours accentuée. Au début du test, la différence est de 5,8 bpm alors qu'à la fin du test elle augmente à 8,6 bpm. La valeur maximale de ce facteur est de 155 bpm et elle arrive à la fin du test dans la condition « neufs ». Même si les statistiques ne sont pas significatives, la figure 4.29 démontre les tendances du facteur VIP. Avec le temps, les Fc augmentent pour tous les VIP de façon à atteindre des valeurs moyennes variant entre 149 et 152,6 bpm à la fin des tests. Durant les tests, c'est le VIP 2 qui obtient les valeurs les plus basses pour la période de temps relatif 0 à 80 %. Au temps relatif de 100 %, la Fc de ce VIP est plus élevée d'un dixième de bpm que pour le VIP 5. Alors que la Fc du VIP 4 se retrouve la plus éloignée de celle du VIP 5 avec une différence de 3,7 bpm. Les Fc augmentent en moyenne de 38 bpm entre les temps relatifs de 0 et 100 %.

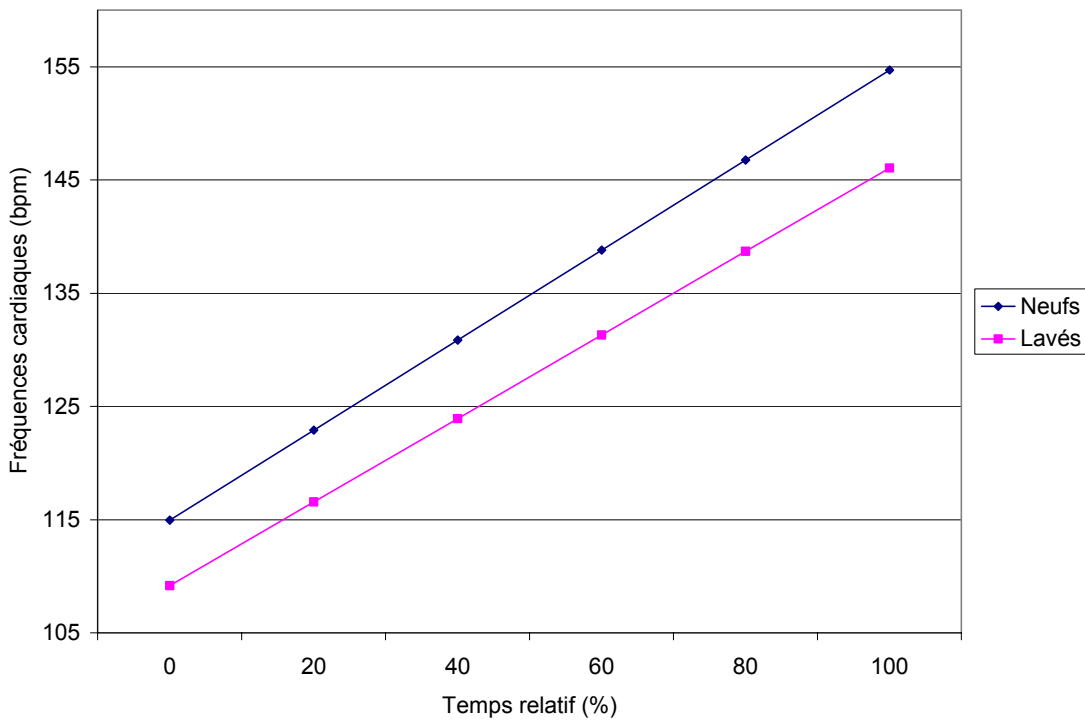


Figure 4.28 Évolution de la Fc dans le temps pour le test de marche sur tapis roulant en environnement chaud, Fc calculée à partir des droites de régression pour le facteur lavage.



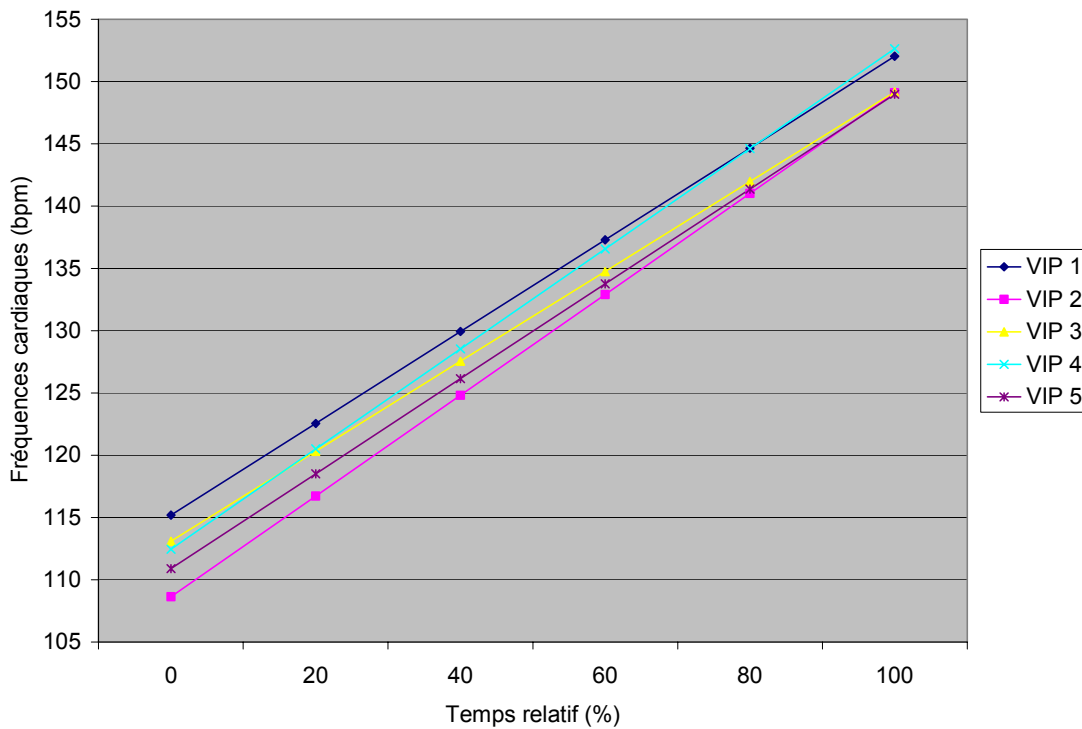


Figure 4.29 Évolution de la Fc dans le temps pour le test de marche sur tapis roulant en environnement chaud, Fc calculée à partir des droites de régression pour le facteur VIP.

### 4.3.3 Coût cardiaque

Pour l'analyse statistique du CC, les mêmes modifications que celles réalisées sur la Fc furent apportées aux données brutes en environnement chaud. Le tableau 4.11 présente l'analyse statistique des valeurs du CC obtenues grâce aux droites de régression. Selon cette analyse, le facteur lavage obtient une différence significative des valeurs pour tous les temps analysés. Pour le facteur VIP et pour l'interaction lavage\*VIP, les résultats ne sont toujours pas significatifs.

Tableau 4.11 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt du CC calculé avec une droite de régression durant les tests de marche en environnement chaud pour les facteurs lavage, VIP et leur interaction (lavage\*VIP) (\* $p < 0,05$ )

Temps	CC estimé avec les droites de régression		
	Lavage	VIP	Lavage*VIP
0 %	<b>0,031*</b>	0,090	0,209
20 %	<b>0,031*</b>	0,121	0,264
40 %	<b>0,032*</b>	0,182	0,334
60 %	<b>0,033*</b>	0,291	0,413
80 %	<b>0,036*</b>	0,433	0,485
100 %	<b>0,040*</b>	0,553	0,535

La figure 4.30 présente l'évolution du CC dans le temps pour le facteur lavage. Peu importe si les VIP sont neufs ou lavés, le CC augmente avec le temps. La condition « lavés » est encore une fois la moins exigeante. La baisse moyenne qu'elle cause est en moyenne de 7 bpm pour tous les temps relatifs considérés. L'influence du facteur VIP sur le CC lors d'un test de marche en environnement chaud est représentée sur la figure 4.31. Malgré les différences entre les VIP, le CC ne présente pas de différence significative pour ce facteur. À la fin du test, la différence du CC moyen n'est pas supérieure à 3,2 bpm. Cependant, cette différence n'a pas été suffisante pour obtenir des différences significatives. De façon générale, le CC moyen passe de 55 bpm au temps 0 % à 92 bpm au temps 100 %. Ces valeurs démontrent que la charge de travail physiologique imposée par ce test était très élevée.

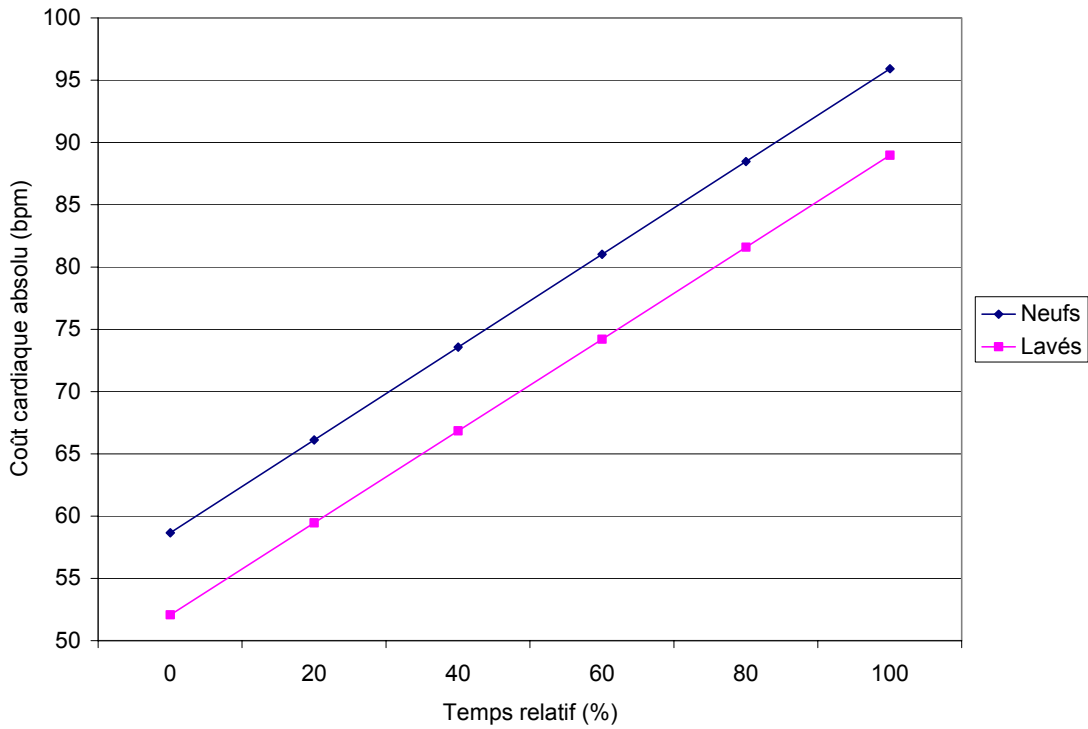


Figure 4.30 Évolution du CC dans le temps pour le test de marche sur tapis roulant en environnement chaud, CC calculé à partir des droites de régression pour le facteur VIP au temps 0 %, 20 %, 40 %, 60 %, 80 % et 100 % (\* p < 0,05).

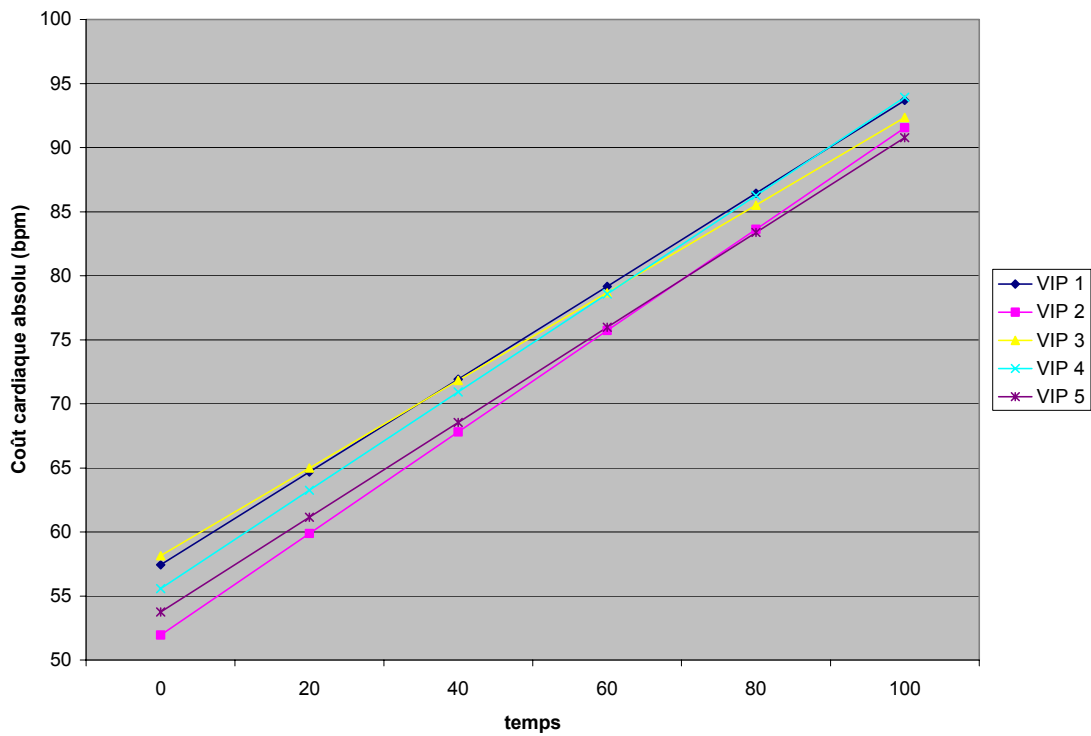


Figure 4.31 Évolution du CC dans le temps pour le test de marche sur tapis roulant en environnement chaud, Fc estimé à partir des droites de régression pour le facteur VIP aux temps 0 %, 20 %, 40 %, 60 %, 80 % et 100 %.

#### **4.3.4 Consommation d'oxygène**

La figure 4.32 présente l'évolution de la consommation d'oxygène durant tout le test. Les données de cette figure étaient traitées de la même façon qu'en environnement tempéré. C'est-à-dire qu'elles ont été moyennées avec leur écart-type pour ensuite enlever les données se situant à plus ou moins deux écarts-types. Cette figure démontre que la consommation d'oxygène des sujets atteint un plateau. Il est à noter que les données des sujets 1 et 4 ont été ajustées afin de permettre la comparaison de tous les sujets sur la durée totale des tests. Ainsi, la figure est présentée en durée du test.

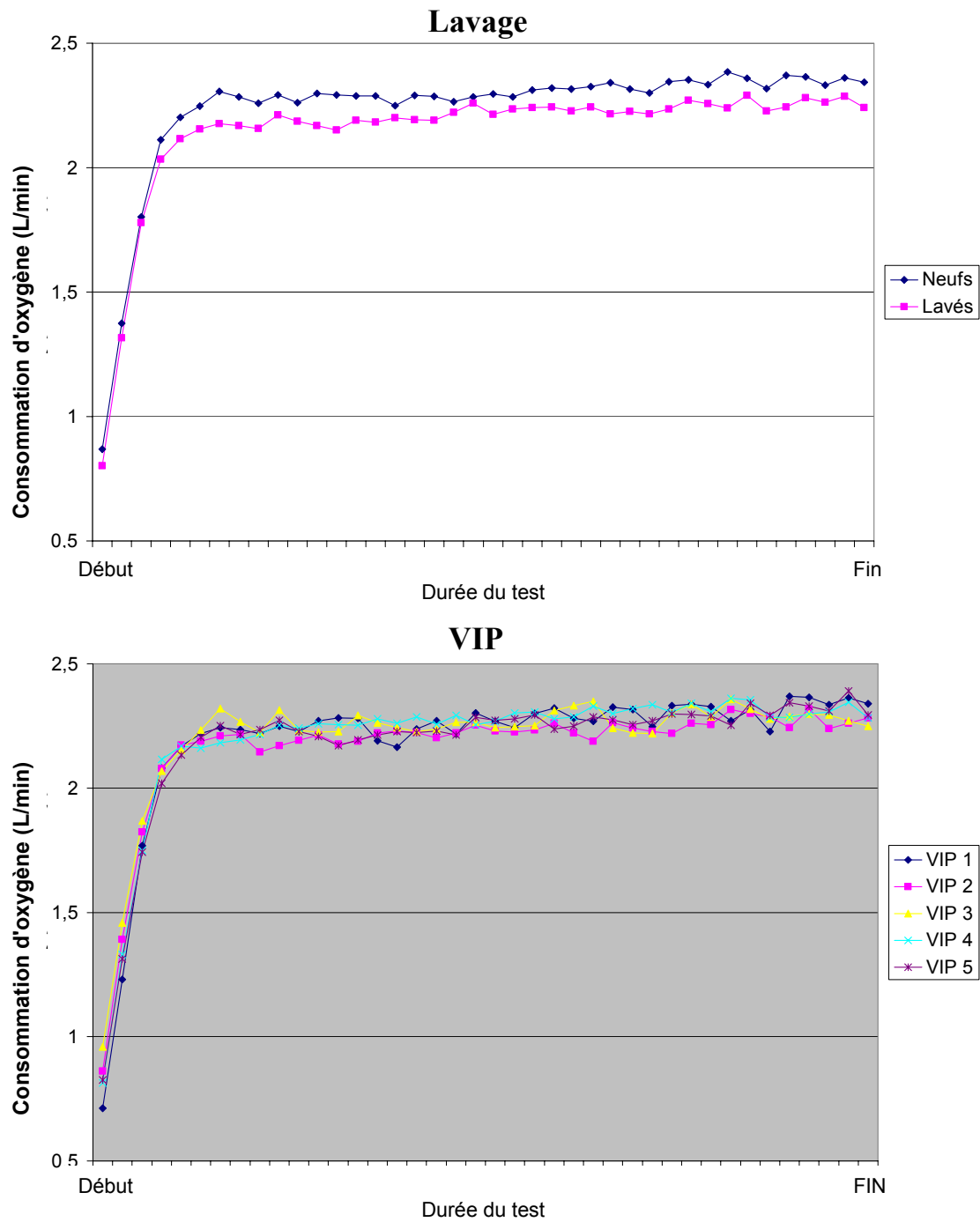


Figure 4.32 Évolution de la consommation d'oxygène moyenne des cinq sujets pour le facteur lavage et le facteur VIP durant le test de marche de 20 minutes sur le tapis roulant en environnement chaud.

Malheureusement, une exception s’est présentée pour ce test. Lors d’un test du sujet 1, le filtre de l’embout buccal s’est détaché partiellement. Cet incident a causé une fuite d’air donc une diminution du volume d’air inspiré et peut-être même une contamination de l’air expiré vers l’analyseur par l’air ambiant. Même si la baisse de la réponse physiologique a été observée durant la prise de données, la raison de ce changement a été connue en retirant le matériel du sujet. La figure 4.33 présente l’influence de cet incident sur la consommation d’oxygène. Elle présente bien que la consommation du sujet 1 a changé de façon radicale entre la consommation de la 11<sup>e</sup> minute et la consommation de la 11<sup>e</sup> minute et demie. Lors de l’analyse statistique, pour ne pas perdre toutes les données du sujet 1, ce sont les données de la 9<sup>e</sup> à la 11<sup>e</sup> minute qui ont été considérées. Ces données ont été retenues puisque, tel qu’il a été présenté sur la figure 4.32, les données forment un plateau après les premières minutes. Pour cette variable dépendante, le tableau 4.12 présente les résultats de l’analyse statistique. Ce tableau démontre qu’il n’y a pas de différence significative pour le facteur lavage.

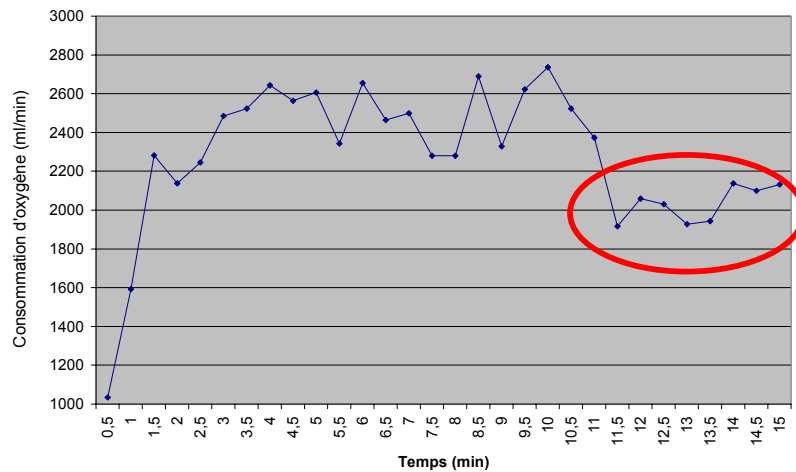


Figure 4.33 Évolution de la consommation d’oxygène moyenne du sujet 1 avec le VIP 4 neuf durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement chaud.

Tableau 4.12 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de la VO<sub>2</sub> durant les trois dernières minutes des tests de marche en environnement chaud pour les facteurs lavage, VIP et leur interaction (lavage\*VIP)

Consommation d'oxygène		
Lavage	VIP	Lavage*VIP
0,140	0,598	0,198

Afin d'isoler seulement les données qui ont été analysées dans les statistiques, la figure 4.34 présente la moyenne et l'écart type pour ce facteur. Avec cette figure, on peut constater qu'à la suite du lavage il y a encore une diminution de la consommation d'oxygène. Même si cette tendance est observée pour la durée complète du test sur la figure 4.32, elle n'est pas assez uniforme chez tous les sujets pour obtenir une différence significative. Au niveau du facteur VIP, cette même figure révèle que les 5 VIP se chevauchent régulièrement tout au long du test. Les données qui ont servi pour l'analyse statistique de ce facteur sont présentées à la figure 4.35 sous la forme de leur moyenne et de leur écart type. Bien que les VIP 2 et 3 présentent à première vue un avantage sur les autres VIP, cette différence est très légère. En fait, elle se situe à 0,056 L/min entre le VIP le plus bas et le VIP le plus haut. Ces VIP sont respectivement le VIP 3 avec une valeur de 2,26 L/min et le VIP 1 qui a une valeur de 2,32 L/min.

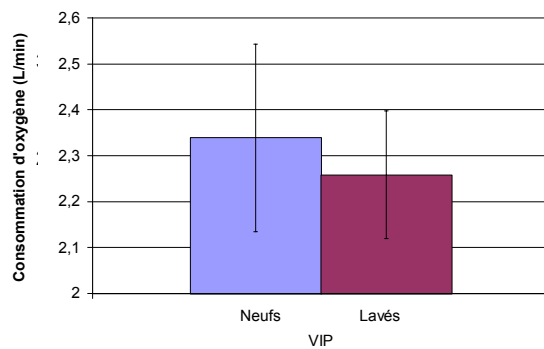


Figure 4.34 Consommation d'oxygène moyenne du sujet pour le facteur lavage durant le test de marche de 20 minutes sur le tapis roulant en environnement chaud.

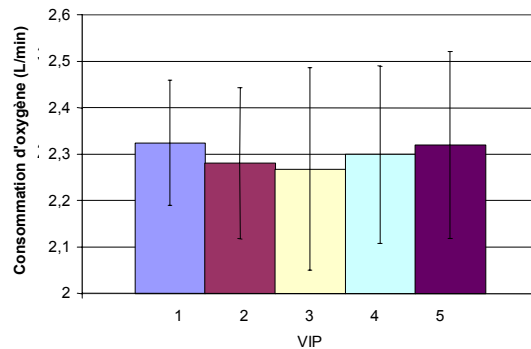


Figure 4.35 Consommation d'oxygène moyenne des sujets pour le facteur VIP durant le test de marche de 20 minutes sur le tapis roulant en environnement chaud.

### 4.3.5 La température cutanée

Lors des tests en environnement chaud, la température cutanée n'a pas eu la même progression qu'en environnement tempéré. Pour ces deux tests, les valeurs ont augmenté durant les 20 minutes, mais en environnement chaud, les valeurs ont augmenté plus rapidement et elles ont atteint des valeurs plus élevées. Les valeurs en environnement chaud sont présentées à la figure 4.36. Cette figure comprend la température corporelle moyenne des cinq sujets pour les facteurs lavage et VIP. Comme cette figure le démontre, les données n'ont pas atteint de plateau et elles ne suivent pas une droite linéaire. Les analyses statistiques présentées au tableau 4.13 sont basées sur les résultats obtenus à la fin de chaque test. Similairement au test en environnement tempéré, aucune différence significative n'est présente pour les facteurs de cette variable dépendante.

Tableau 4.13 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de la température cutanée à la fin des tests de marche en environnement chaud pour les facteurs lavage, VIP et leur interaction (lavage\*VIP) (\* $p < 0,05$ )

Température cutanée		
Lavage	VIP	Lavage*VIP
0.313	0.409	0.794

Malgré cette différence non significative, la figure 4.37 présente les moyennes et les écarts types du facteur lavage. La différence entre ces deux conditions est minime et correspond à 1/10 de degré Celsius. Contrairement à toutes les autres variables dépendantes mesurées en environnement chaud, le lavage semble entraîner une hausse de la température. Par contre, cette augmentation n'est pas significative. Pour le facteur VIP, la figure 4.38 démontre que l'écart entre les VIP est faible. Il est de 0,15°C entre le VIP le plus bas (VIP 4) et le VIP le plus haut (VIP 5). Les écarts entre les VIP ne sont pas significatifs.



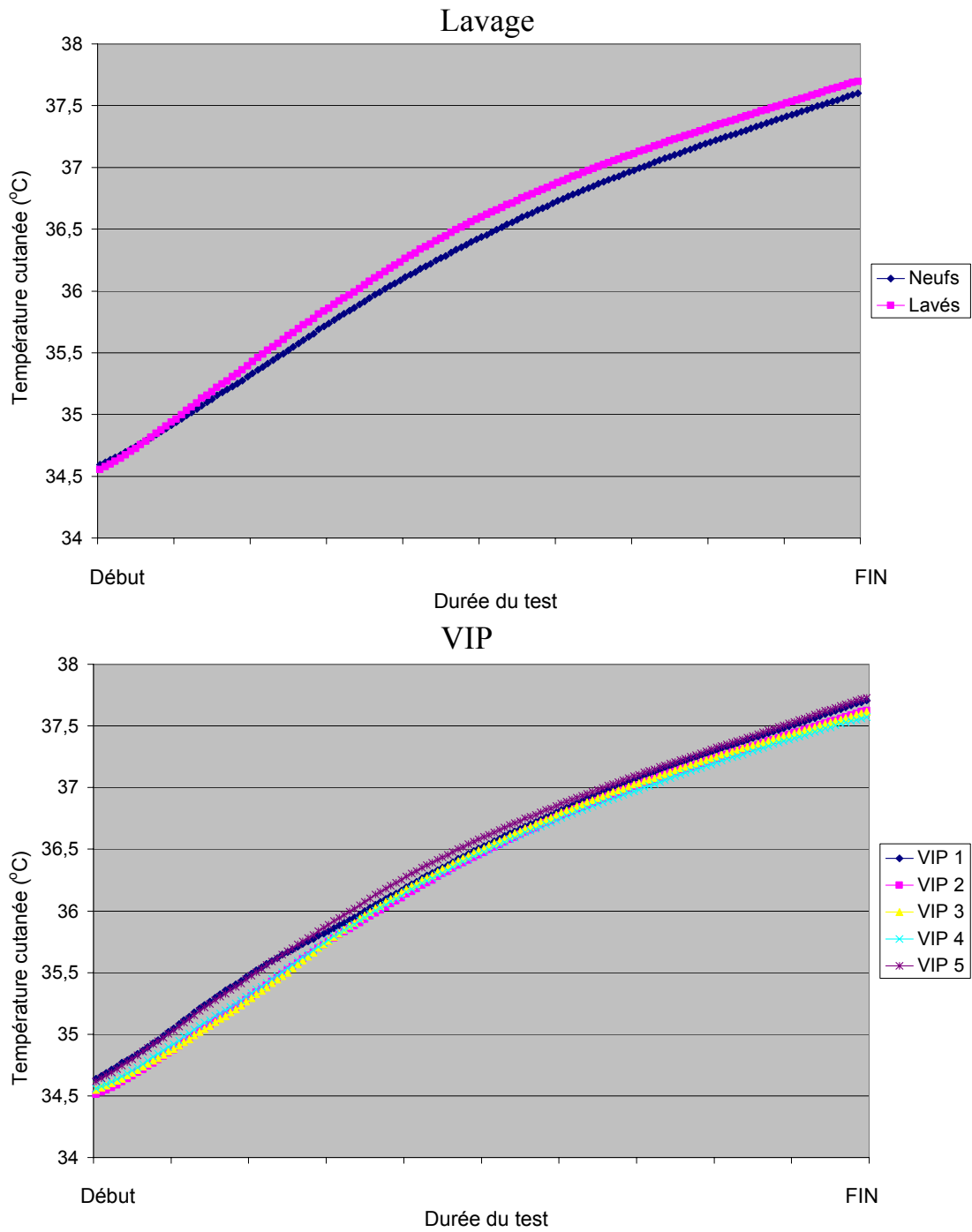


Figure 4.36 Évolution de la température cutanée moyenne des cinq sujets pour le facteur lavage et le facteur VIP durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement chaud.

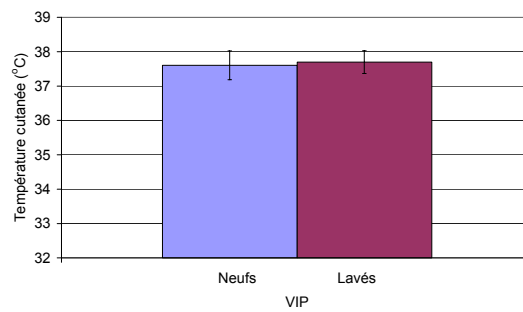


Figure 4.37 Température cutanée moyenne des sujets pour le facteur lavage à la 20<sup>e</sup> minute du test de marche sur tapis roulant en environnement chaud.

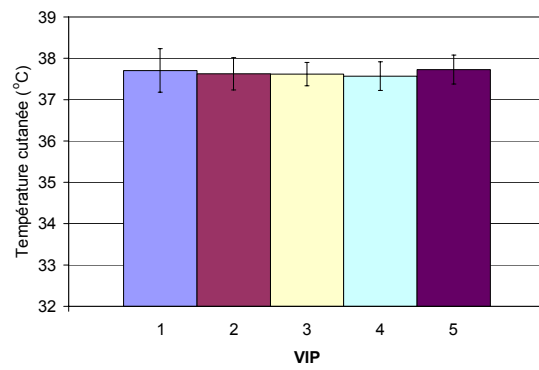


Figure 4.38 Température cutanée moyenne des sujets pour le facteur VIP durant le test de marche de vingt minutes sur le tapis roulant en environnement chaud.

### 4.3.6 Évaluation psychophysique

Les valeurs de l'évaluation psychophysique sont présentées sur la figure 4.39 qui illustre l'évolution des cotes durant toute la durée du test pour les facteurs lavage et VIP. Cette évolution commence avec une cote de 6,12 obtenue à la position debout sans effort avant le début du test. Sur l'échelle de Borg, cette cote est accompagnée de la remarque : « repos, aucun effort ». À la fin des tests, l'évaluation des sujets se situe en moyenne à 11,48. Selon l'échelle de Borg, cette valeur correspond à un effort modéré puisque c'est la remarque qui accompagne cette cote (11 sur l'échelle psychophysique). L'analyse statistique de cette variable a été faite pour la dernière minute et le tableau 4.14 présente les résultats de l'analyse statistique. Encore une fois, la seule différence de cette variable dépendante se retrouve au niveau du facteur lavage. La figure 4.40 présente les résultats obtenus pour le facteur lavage via leur moyenne et leur écart type. Cette figure démontre que le lavage du VIP diminue la perception de l'effort des sujets de 0,64. De son côté, le facteur VIP (figure 4.41) ne présente pas d'écart significatif entre les vêtements évalués. On remarque que l'évaluation psychophysique des sujets a été très constante d'un VIP à l'autre. D'ailleurs, la variation la plus importante se situe entre le VIP 2 (11,3) et le VIP 1 (11,9). L'évaluation des VIP est tellement similaire que les trois autres VIP ont la même cote moyenne soit 11,4.

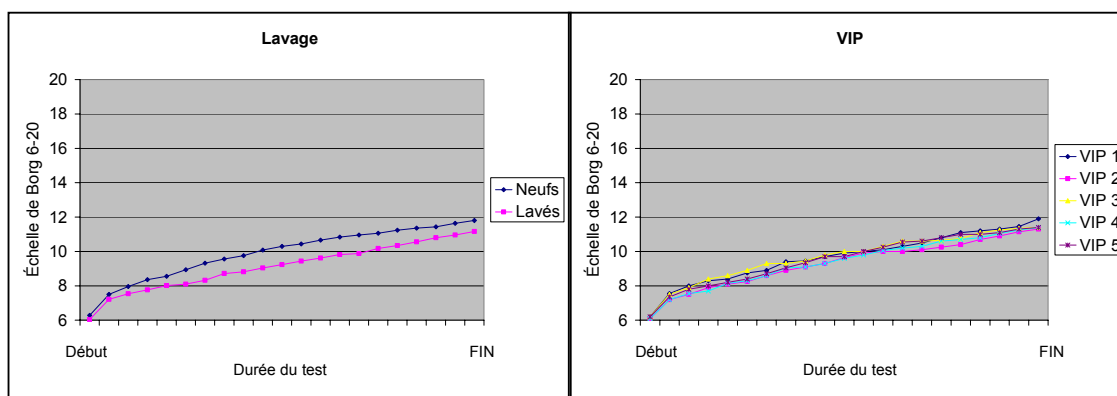


Figure 4.39 Évolution de l'évaluation psychophysique des sujets pour le facteur lavage et le facteur VIP durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement chaud.

Tableau 4.14 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de l'évaluation psychophysique à la 20<sup>e</sup> minute des tests de marche en environnement chaud pour les facteurs lavage, VIP et leur interaction (lavage\*VIP) (\* $p < 0,05$ )

Évaluation psychophysique		
Lavage	VIP	Lavage*VIP
<b>0.016*</b>	0.344	0.150

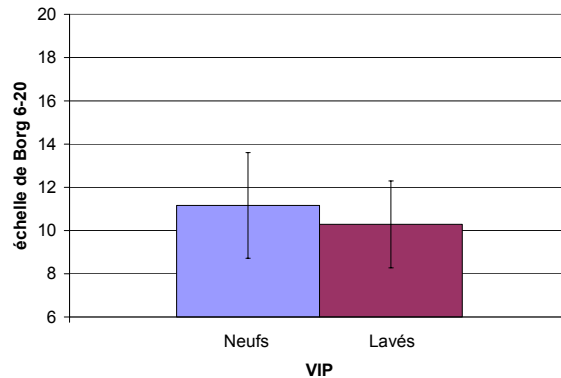


Figure 4.40 Évaluation psychophysique des sujets pour le facteur lavage durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement chaud.

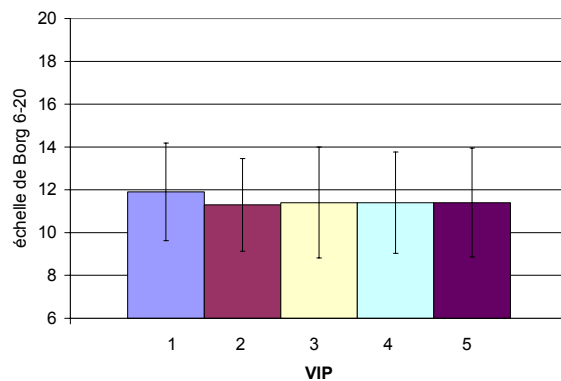


Figure 4.41 Distribution de l'évaluation psychophysique des sujets pour le facteur VIP durant le test de marche sur le tapis roulant en environnement chaud.

#### 4.4 Comparaison entre les VIP et les tests de la condition de contrôle en environnement tempéré

L'étude avait comme but premier de permettre la documentation des différences entre les VIP. Or pour toutes les analyses précédentes, les seules différences significatives obtenues l'ont été pour le facteur lavage qui diminue la demande physiologique des sujets. Toutefois, dans le but de faire ressortir l'augmentation des contraintes physiologiques causées par le port du VIP lors d'un effort soutenu, les résultats des tests en tenue sportive sont comparés avec ceux des VIP lavés seulement. Cette analyse est justifiée par le fait que le lavage apporte une différence significative et que les VIP ne restent pas neufs très longtemps. L'analyse statistique de cette section concerne seulement les résultats obtenus à la fin des tests.

### 4.4.1 Fréquence cardiaque

La figure 4.42 présente l'évolution de la Fc pour le test de marche en environnement tempéré pour les cinq VIP lavés et la condition de contrôle SVIP. Sur cette figure, la Fc pour la condition SVIP augmente de façon logarithmique pour atteindre un plateau vers la 9<sup>e</sup> minute. Pour les conditions avec VIP l'augmentation continue jusqu'à la fin du test. Dans la section du plateau, les données se situent entre 100 et 105 bpm pour la condition SVIP.

Le tableau 4.15 présente l'analyse statistique de cette variable après qu'une correction de Huynh-Feldt ait été effectuée. Sur ce tableau, les différences significatives se retrouvent entre la condition SVIP et toutes les conditions avec VIP. Au niveau des différences entre les VIP, une différence significative est rapportée pour la première fois entre deux VIP et elle se situe entre le VIP 3 et le VIP 4. La figure 4.43 présente les valeurs moyennes et leur écart type des cinq VIP en plus de la condition SVIP. Sur cette figure, en comparant les valeurs des conditions VIP 1 à 5 avec la condition SVIP on obtient des baisses de la Fc qui varient entre 27 et 34 bpm. La figure démontre qu'il est moins exigeant d'utiliser le VIP 3 en environnement tempéré si on le compare seulement au VIP 4.

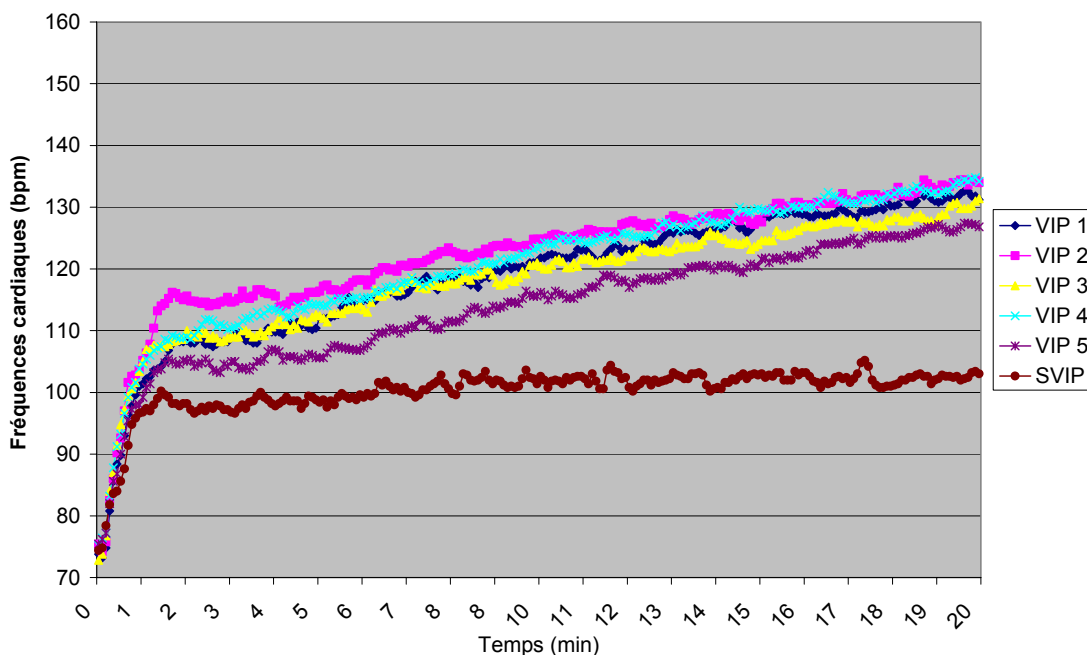


Figure 4.42 Évolution de la Fc pour les VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré.

Tableau 4.15 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de la Fc à la 20<sup>e</sup> minute des tests de marche en environnement tempéré pour les VIP lavés et la condition SVIP (\* $p < 0,05$ )

	VIP 1	VIP 2	VIP 3	VIP 4	VIP 5
VIP 1					
VIP 2	0,515				
VIP 3	0,964	0,395			
VIP 4	0,32	0,884	<b>0,006*</b>		
VIP 5	0,654	0,083	0,437	0,051	
SVIP	<b>0,006*</b>	<b>0,000*</b>	<b>0,000*</b>	<b>0,000*</b>	<b>0,000*</b>

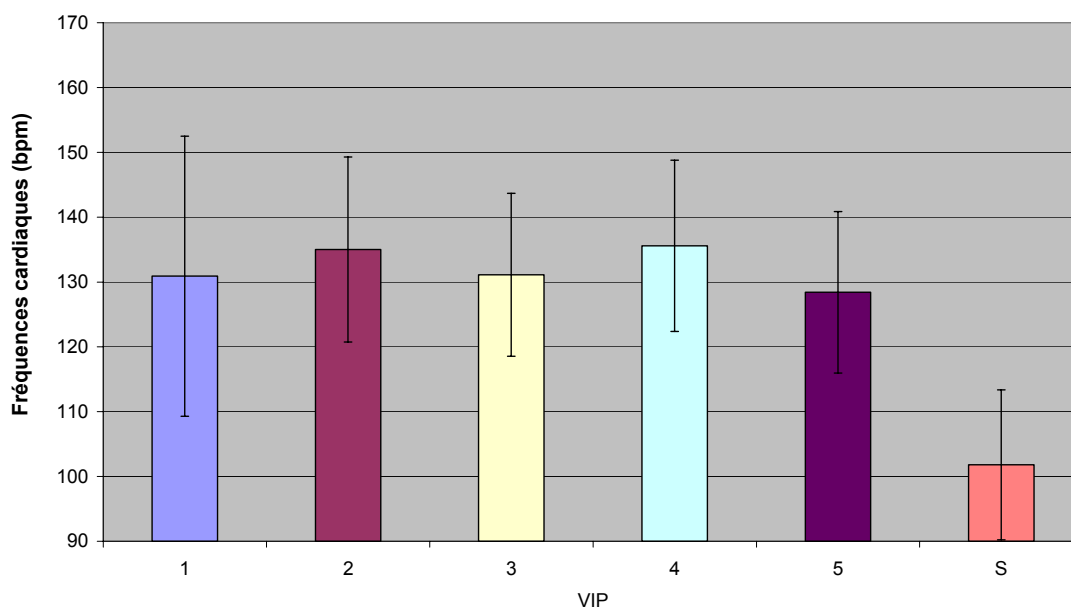


Figure 4.43 Distribution de la Fc en bpm des VIP 1-5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré pour le temps relatif 100 %.

#### 4.4.2 Coût cardiaque

Le CC est présenté sur la figure 4.44 pour la durée totale du test en environnement tempéré. Selon cette figure, le CC en condition SVIP est beaucoup moins exigeant que de réaliser le même test avec le port d'un des VIP utilisés. Pour vérifier statistiquement cette affirmation, les résultats sont présentés au tableau 4.16. Sur celui-ci, on remarque que la condition SVIP est différente de toutes les conditions avec VIP. Ces résultats sont donc similaires à ceux de la Fc à une exception près, la différence entre les VIP 3 et 4 n'est plus présente. Le fait que la condition physique des sujets avant les tests n'était pas toujours la même semble avoir eu une influence sur la Fc de repos et par le fait même sur le CC durant l'exercice. La figure 4.45 permet de visualiser

les valeurs du CC à la fin du test. Le port des VIP cause un CC plus élevé que la condition SVIP lors des tests de marche en environnement tempéré. Les valeurs du CC pour le test de marche SVIP sont 45,6 bpm. Les valeurs les plus basses et les plus hautes des conditions avec VIP sont respectivement de 72,7 bpm (VIP 3) et 77,2 bpm (VIP 4). La différence entre le VIP 3 et le VIP 4 est encore présente, mais elle n'est plus significative.

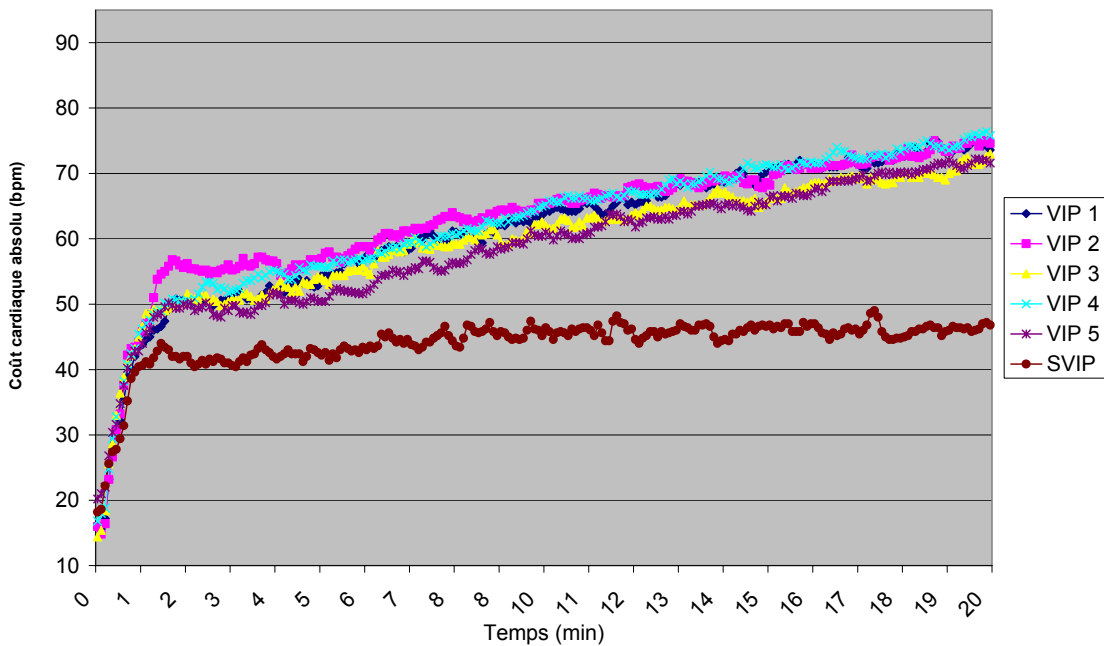


Figure 4.44 Évolution du CC pour les VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré.

Tableau 4.16 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt du CC à la 20<sup>e</sup> minute des tests de marche en environnement tempéré pour les VIP lavés et la condition SVIP (\* $p < 0,05$ )

	VIP 1	VIP 2	VIP 3	VIP 4	VIP 5
VIP 1					
VIP 2	0,775				
VIP 3	0,065	0,486			
VIP 4	0,817	0,712	0,14		
VIP 5	0,453	0,583	0,645	0,196	
SVIP	<b>0,002*</b>	<b>0,002*</b>	<b>0,003*</b>	<b>0,001*</b>	<b>0,001*</b>

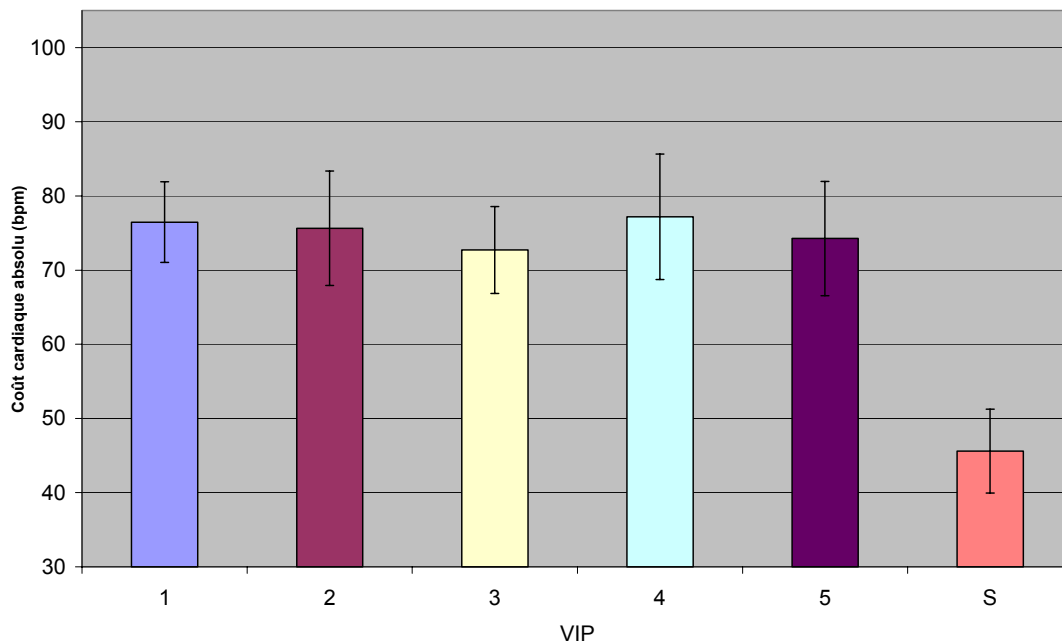


Figure 4.45 Distribution du CC en bpm des VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré pour le temps relatif 100 %.

### 4.4.3 La température cutanée

L'acquisition des données réalisée durant les tests SVIP a été accompagnée d'un incident. Avant le test du sujet 5, la remise à zéro de l'appareil d'acquisition de données n'a pas bien été effectuée. Donc, les données de la température cutanée du sujet 5 ne sont pas disponibles. Les analyses statistiques et les figures concernant ces comparaisons de la température cutanée ont été réalisées avec quatre sujets. La figure 4.46 présente l'évolution de la température cutanée des sujets lors du test de marche en environnement tempéré. L'augmentation de la température cutanée entre le début et la fin du test de la condition SVIP est seulement de 0,5°C. Pour les conditions avec VIP, l'augmentation est presque toujours de 3°C, peu importe le VIP. Cette figure démontre bien qu'en condition tempérée, le port du VIP apporte une augmentation de la température cutanée. De plus, cette dernière n'est pas présente si le test de marche est fait sans le port du VIP. Le tableau 4.17 confirme ces affirmations en présentant les analyses statistiques réalisées pour cette variable. On observe que la condition SVIP est différente de toutes les conditions avec VIP. Pour les comparaisons entre les VIP, les analyses ne démontrent aucune différence significative. La figure 4.47 présente les valeurs de température des différentes conditions à la fin des tests. Elle démontre bien les différences importantes qui existent entre la condition SVIP et les conditions avec VIP. Ces différences varient entre 3,2 et 3,8°C. La valeur maximale des températures cutanées mesurées est de 36,4°C.



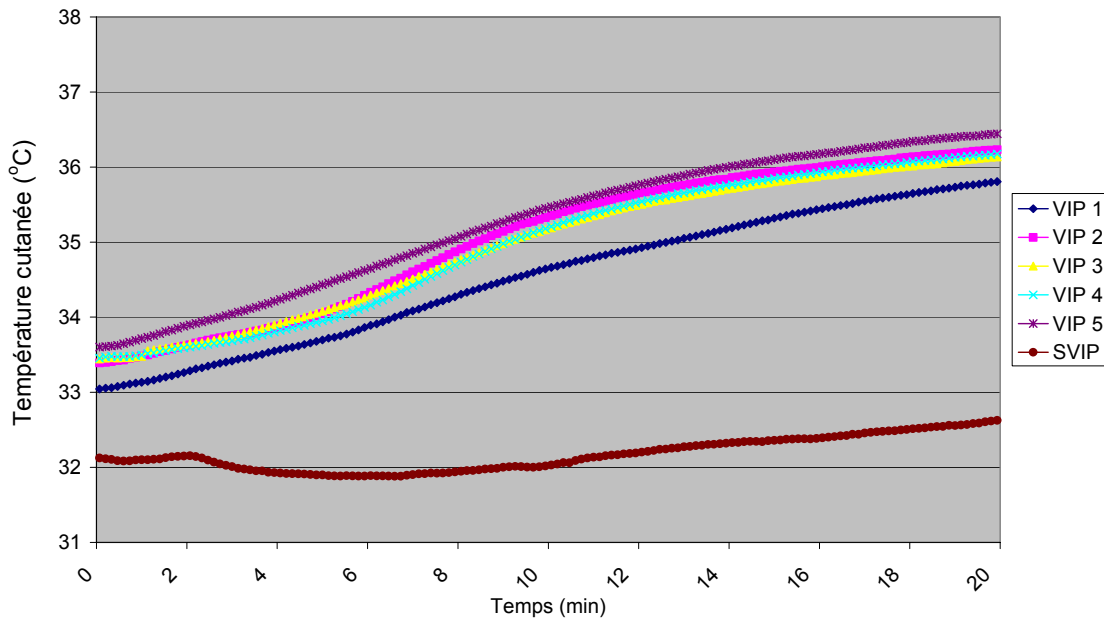


Figure 4.46 Évolution de la température cutanée pour les VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré.

Tableau 4.17 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de la température cutanée à la 20<sup>e</sup> minute des tests de marche en environnement tempéré pour les VIP lavés et la condition SVIP (\* $p < 0,05$ )

	VIP 1	VIP 2	VIP 3	VIP 4	VIP 5
VIP 1					
VIP 2	0,29				
VIP 3	0,303	0,612			
VIP 4	0,286	0,628	0,79		
VIP 5	0,291	0,776	0,665	0,68	
SVIP	<b>0,003*</b>	<b>0,003*</b>	<b>0,001*</b>	<b>0,003*</b>	<b>0,019*</b>

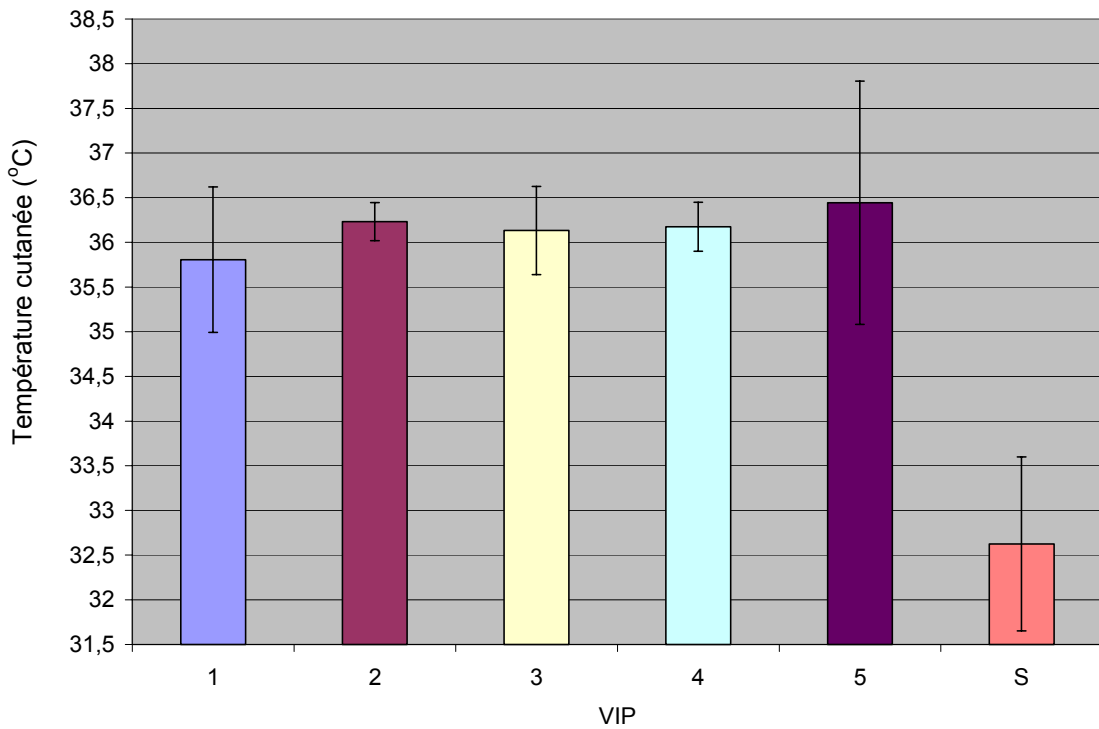


Figure 4.47 Distribution de la température cutanée en degré Celsius des VIP 1-5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré pour le temps relatif 100 %.

#### 4.4.4 Évaluation psychophysique

La figure 4.48 présente l'évolution des cotes lors de l'évaluation psychophysique de l'effort mesurée à l'aide de l'échelle de Borg (6 à 20). Au début du test, les points de départ varient entre 6.1 et 6.3. À la fin des tests, la condition SVIP est moins exigeante que les conditions avec VIP. Pour appuyer cette affirmation, l'analyse statistique est présentée sur le tableau 4.18. Selon les résultats présentés sur ce tableau, la condition SVIP ressort différente des conditions avec VIP.

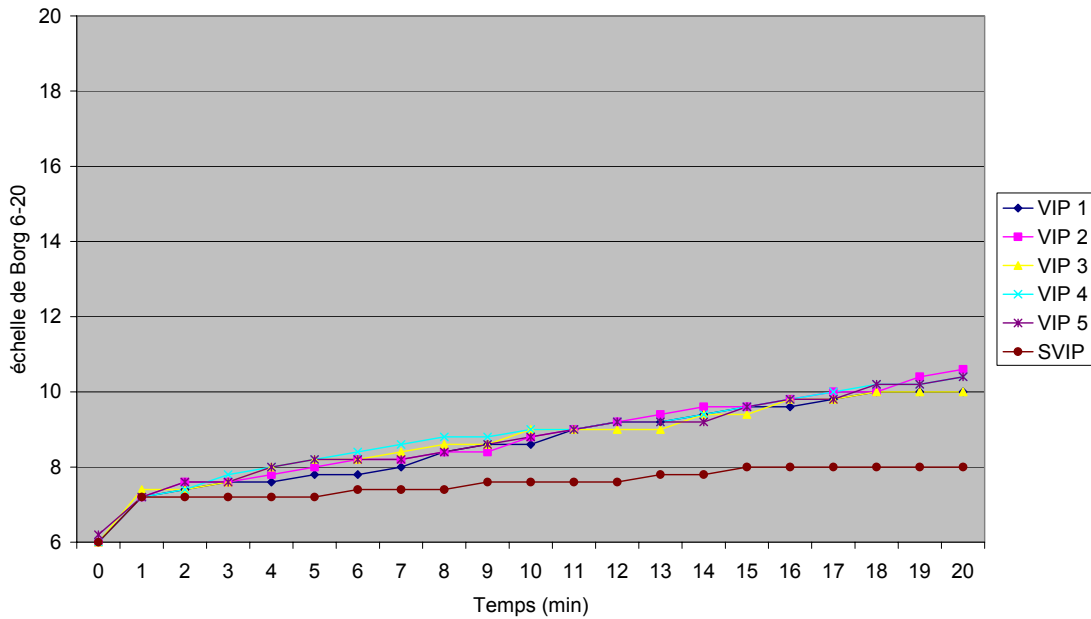


Figure 4.48 Évolution de l'évaluation psychophysique sur l'échelle de Borg (6-20) des VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré.

Tableau 4.18 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de l'évaluation psychophysique à la 20<sup>e</sup> minute des tests de marche en environnement tempéré pour les VIP lavés et la condition SVIP (\* $p < 0,05$ )

	VIP 1	VIP 2	VIP 3	VIP 4	VIP 5
VIP 1					
VIP 2	0,208				
VIP 3	1,000	0,305			
VIP 4	0,374	0,374	0,477		
VIP 5	0,374	0,374	0,477	---	
SVIP	<b>0,022*</b>	<b>0,033*</b>	<b>0,022*</b>	<b>0,042*</b>	<b>0,042*</b>

Les cotes moyennes obtenues à la fin des tests sont présentées à la figure 4.49. Ces résultats démontrent que les valeurs des VIP varient entre 10 et 10,6 alors que la valeur de la condition SVIP est de 8. Cette cote se situe entre les remarques « très, très faible » (7) et « très faible » (9) de l'échelle de Borg alors que la cote de 10 se situe entre les remarques « très faible » (9) et « modéré » (11).

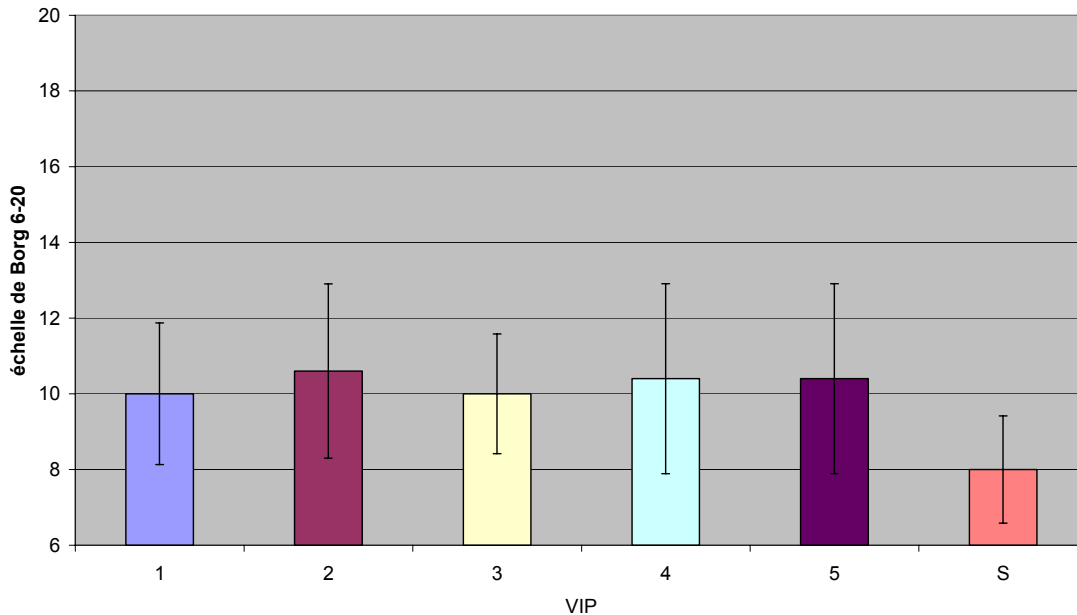


Figure 4.49 Distribution de l'évaluation psychophysique des VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré pour le temps relatif 100 %.

## 4.5 Comparaison entre les tests avec les VIP et les tests de la condition de contrôle en environnement chaud

### 4.5.1 Fréquence cardiaque

Les comparaisons entre les VIP et la condition de contrôle ont aussi été faites pour les tests de marche en environnement chaud. La figure 4.50 présente l'évolution de la Fc pour le test de marche en environnement chaud. Pour le test en environnement tempéré, la moyenne de la condition SVIP avait atteint et maintenu un plateau aux environs de 101,8 bpm. Dans ce cas en environnement chaud, la Fc ne se stabilise jamais. Elle a la même réponse que les conditions avec VIP, mais à une amplitude moins grande. À la fin du test en environnement tempéré, la différence était de 27 bpm entre la condition SVIP et la condition avec VIP la plus basse. En environnement chaud, cette différence n'est plus que de 12 bpm. Les analyses statistiques de ces différences sont présentées sur le tableau 4.19 qui permet de constater que même si l'écart de la Fc a diminué entre les conditions avec VIP et SVIP, la différence entre ces dernières demeure toujours significative.

Tableau 4.19 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de la Fc à la 20<sup>e</sup> minute des tests de marche en environnement chaud pour les VIP lavés et la condition SVIP (\* $p < 0,05$ )

	VIP 1	VIP 2	VIP 3	VIP 4	VIP 5
VIP 1					
VIP 2	0,954				
VIP 3	0,176	0,182			
VIP 4	0,663	0,782	0,27		
VIP 5	0,345	0,163	0,996	0,445	
SVIP	<b>0,003*</b>	<b>0,001*</b>	<b>0,009*</b>	<b>0,001*</b>	<b>0,033*</b>

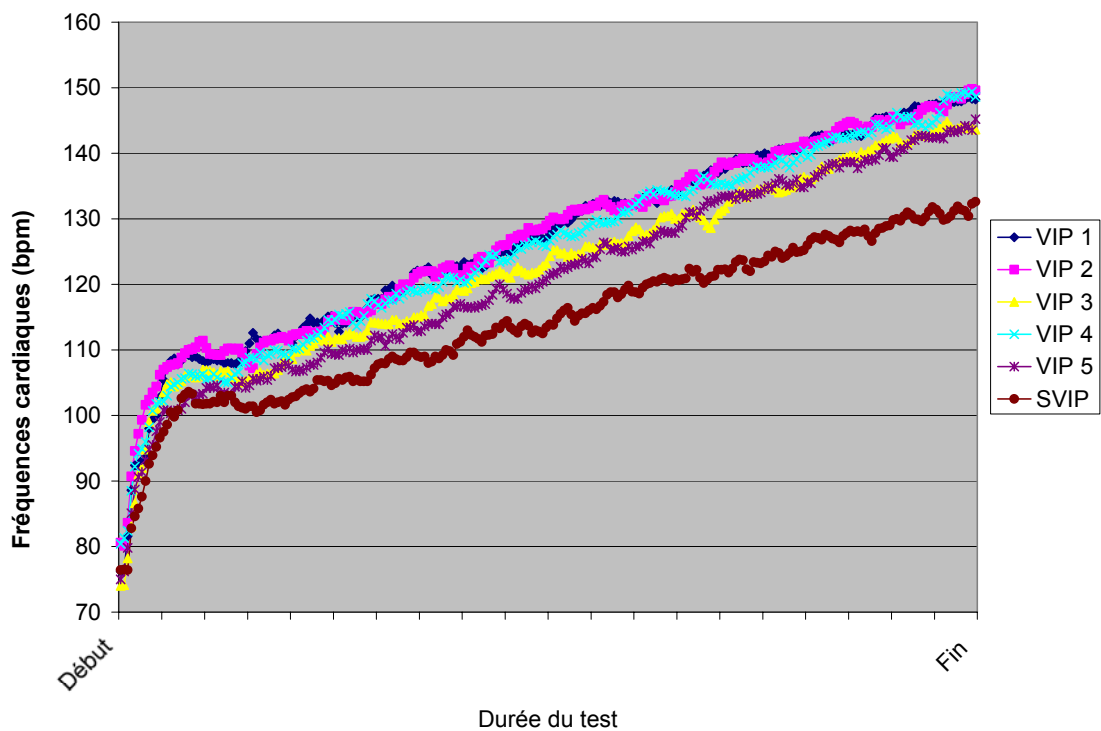


Figure 4.50 Évolution de la Fc pour les VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement chaud.

La figure 4.51 présente les différences de Fc retrouvées à la fin du test de marche en environnement chaud. Cette figure démontre qu’il n’y a pas plus de 5 bpm de différence entre le VIP le plus haut et le VIP le plus bas. Ce sont les VIP 3 et 5 qui obtiennent les Fc les plus basses, mais ces valeurs présentent quand même une augmentation de 12 bpm par rapport à la condition SVIP. Il faut noter que les différences ne sont pas significatives entre les conditions avec VIP.

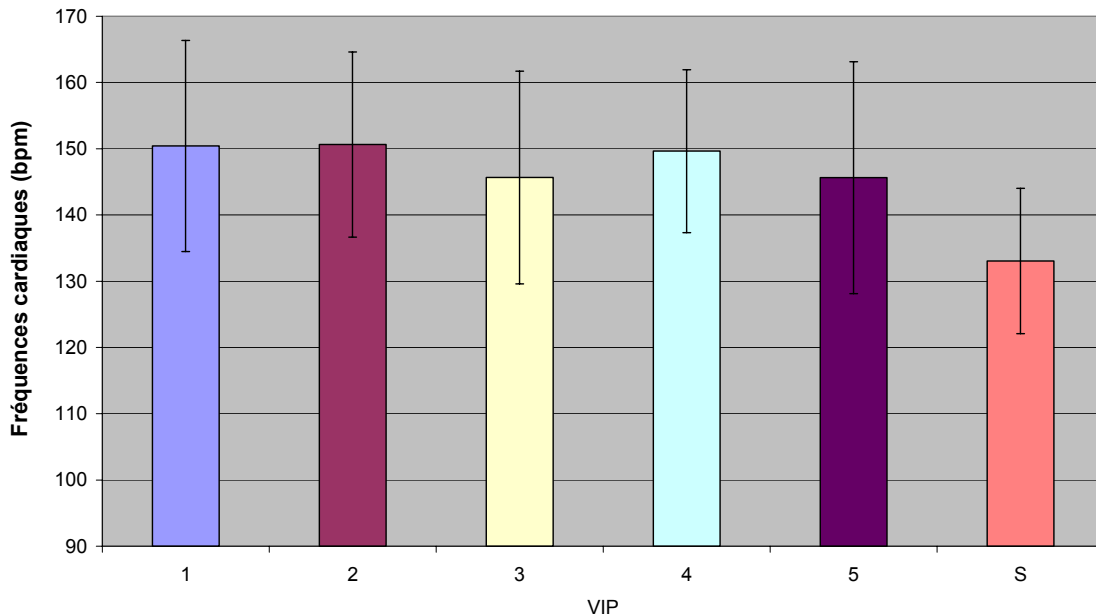


Figure 4.51 Distribution de la Fc en bpm des VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement chaud pour le temps relatif 100 %.

### 4.5.2 Coût cardiaque

La comparaison du CC moyen mesuré pour la condition SVIP et les autres conditions avec VIP est présentée à la figure 4.52. L’évolution des courbes du CC durant toute la durée du test permet de voir que le port des VIP augmente considérablement la charge cardiaque des sujets. Les analyses statistiques confirment ces observations en démontrant que le port des VIP cause une hausse significative du CC (voir tableau 4.20). Outre cette différence obtenue à la fin du test, on remarque sur la figure 4.52 que l’écart entre les deux conditions s’est accentué avec la durée du test.

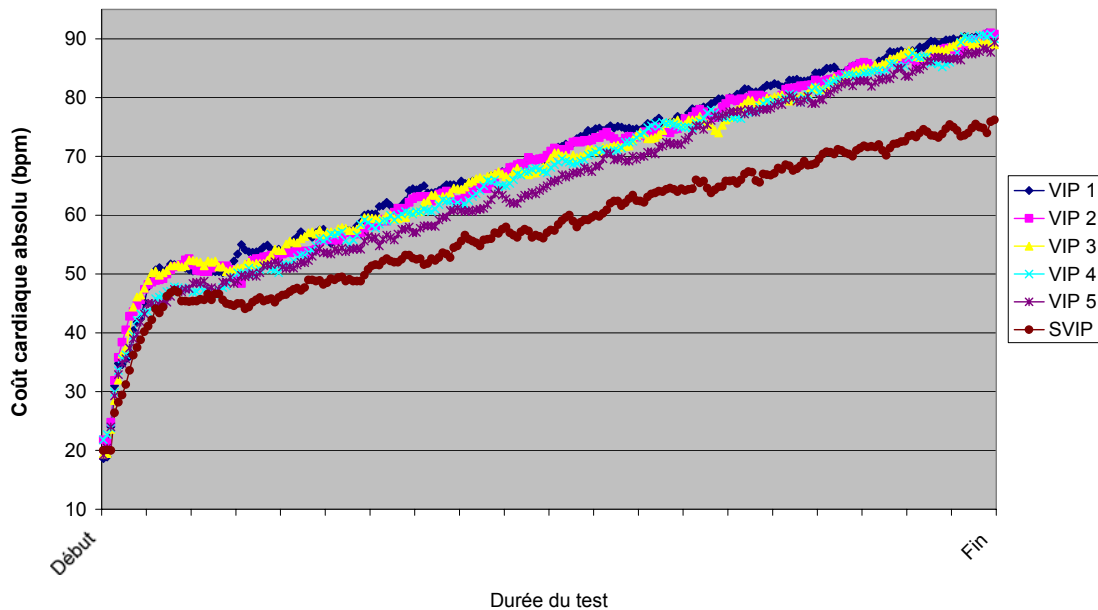


Figure 4.52 Évolution du CC pour les VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement chaud.

Tableau 4.20 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt du CC à la 20<sup>e</sup> minute des tests de marche en environnement chaud pour les VIP lavés et la condition SVIP (\* $p < 0,05$ )

	VIP 1	VIP 2	VIP 3	VIP 4	VIP 5
VIP 1					
VIP 2	0,634				
VIP 3	0,581	0,83			
VIP 4	0,079	0,753	0,974		
VIP 5	0,266	0,376	0,749	0,707	
SVIP	<b>0,003*</b>	<b>0,000*</b>	<b>0,018*</b>	<b>0,010*</b>	<b>0,011*</b>

La figure 4.53 permet de visualiser les résultats en présentant la moyenne et l'écart type des valeurs obtenues du CC à la fin des tests. Comparativement aux Fc, les valeurs du CC pour les conditions avec VIP se sont regroupées. En effet, la différence entre la valeur du CC la plus basse et la plus haute n'est plus que de 3 bpm. Pour la condition SVIP, le CC est de 73,8 bpm et la différence avec la condition avec VIP la plus basse est de 13 bpm.

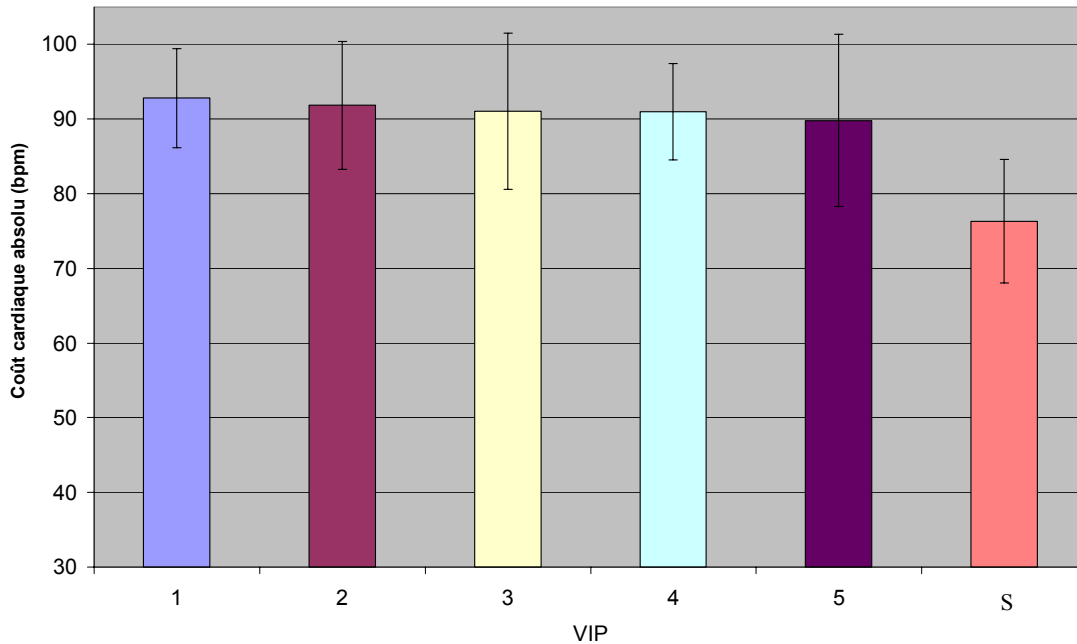


Figure 4.53 Distribution du CC en bpm des VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement chaud pour le temps relatif 100 %.

### 4.5.3 La température cutanée

La figure 4.54 présente l'évolution de la température cutanée des sujets lors du test de marche en environnement chaud. Selon ces résultats, la température cutanée de la condition SVIP suit de très près les courbes des conditions avec VIP. Ce comportement est très différent de celui en environnement tempéré où la température cutanée de la condition SVIP présentait une augmentation plus importante durant ce test. Pour le présent test, la température cutanée entre le début et la fin du test est de 3.8°C pour la condition SVIP ce qui représente une augmentation un peu plus importante que celles avec VIP où elle varie, entre le début et la fin du test, de 3.2 à 3.4°C. À la fin des tests, lorsque le test sur l'effet des sujets entre eux est fait avec une correction de Huynh-Feldt à  $p < 0,05$  la différence n'est pas significative entre les conditions de ce facteur ( $p < 0,099$ ). Par contre, il faut souligner que l'analyse a été réalisée avec un sujet en moins et que cela peut avoir une influence sur les statistiques. La figure 4.55 présente tout de même les valeurs de ces conditions à la fin du test. Cette figure démontre bien que les différences de température cutanée entre la condition SVIP et les conditions avec VIP sont moins importantes qu'en environnement tempéré. Pour cet environnement, les différences variaient entre 3,2 et 3,8°C alors qu'en environnement chaud elle varie entre 0,4 et 0,7°C. C'est le VIP 2 qui obtient la température maximale avec une valeur de 37,8°C et le VIP 4 présente la plus basse avec 37,5°C.



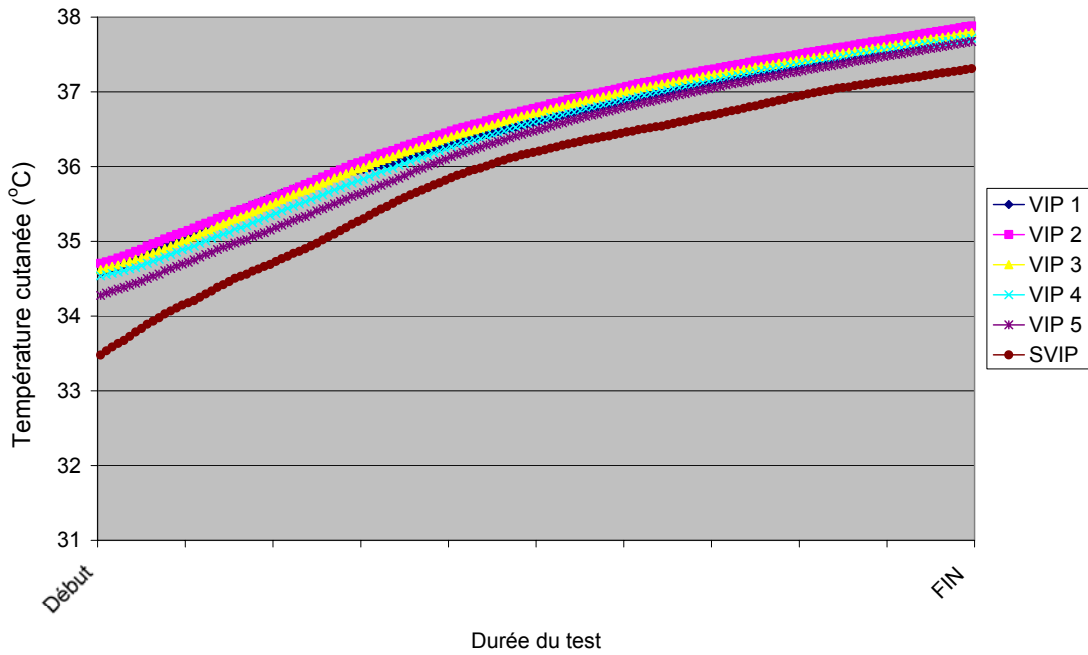


Figure 4.54 Évolution de la température cutanée pour les VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement chaud.

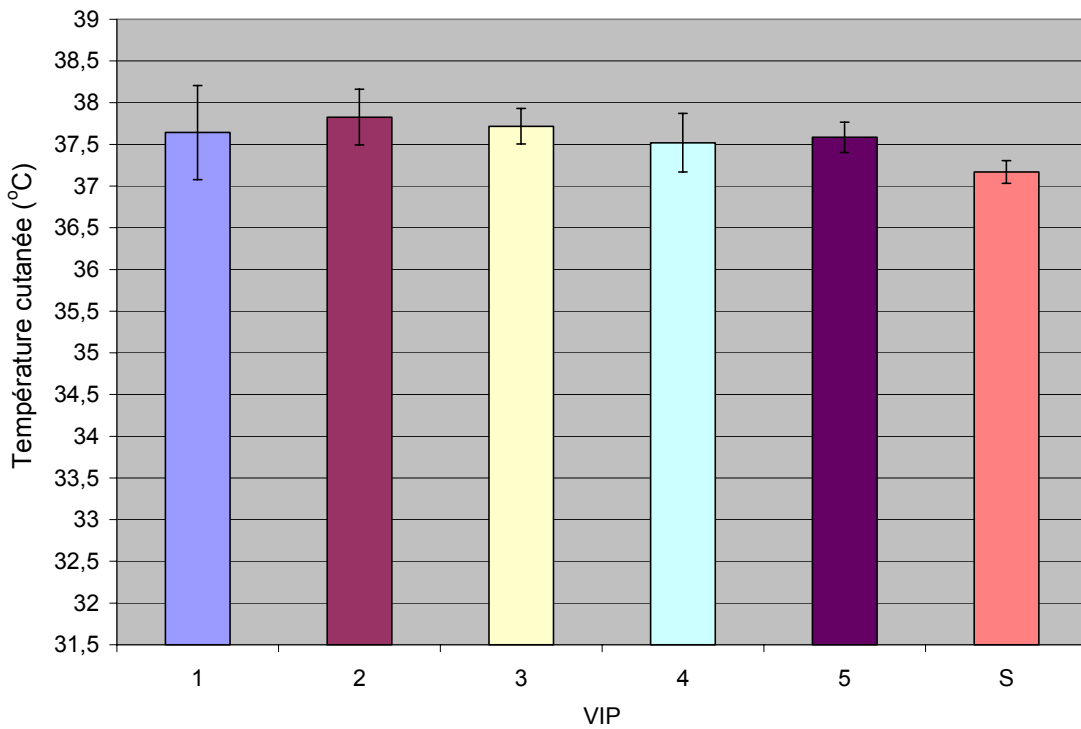


Figure 4.55 Distribution de la température cutanée en degré Celsius des VIP 1-5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement chaud pour le temps relatif 100 %.

### 4.5.4 L'évaluation psychophysique

La figure 4.56 présente l'évolution des cotes mesurées lors de l'évaluation de la perception de l'effort durant les tests. Selon ces résultats, la condition SVIP est toujours moins exigeante que les conditions avec VIP. Cette différence importante entre les conditions VIP et SVIP obtenue vers la fin des tests de marche permet statistiquement d'avoir des résultats significatifs. La figure 4.57 présente les données obtenues à la fin des tests. Comme il est présenté sur cette figure, la condition SVIP est moins exigeante et elle a une cote moyenne de 8, alors que les conditions avec VIP se retrouvent avec une cote variant entre 11 et 11,4. Les remarques qui accompagnent ces évaluations correspondent pour la cote 8 à un niveau entre « très, très faible » (7) et « très faible » (9) et pour la cote 11 « modérée ». Le tableau 4.21 présente l'analyse statistique de cette variable.

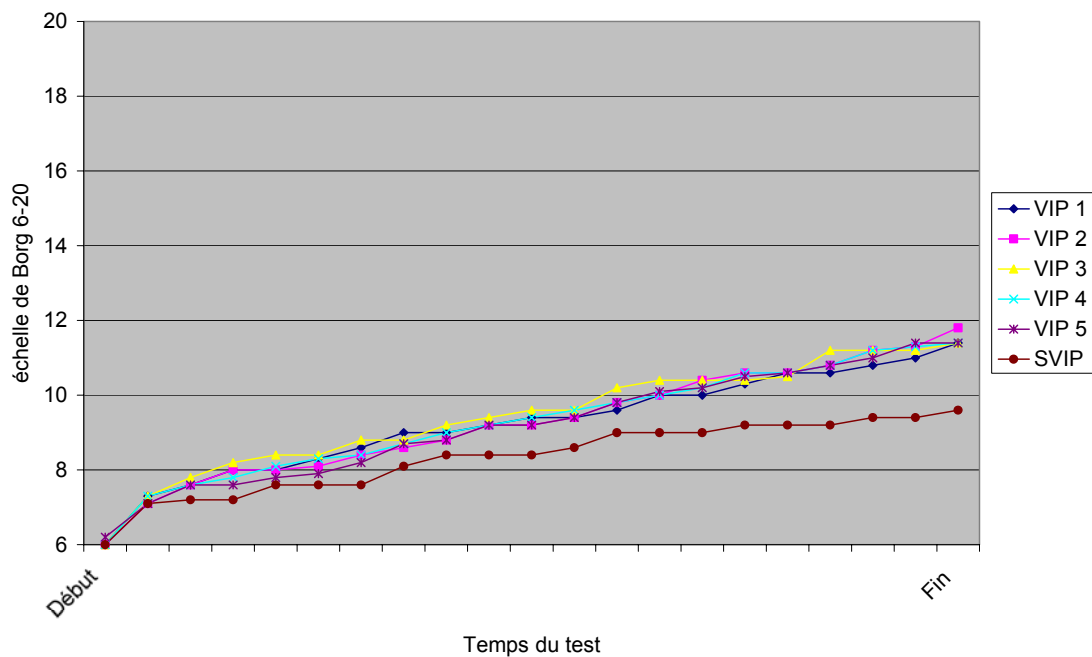


Figure 4.56 Évolution de l'évaluation psychophysique sur l'échelle de Borg (6-20) des VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement chaud.

Tableau 4.21 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de l'évaluation psychophysique à la 20<sup>e</sup> minute des tests de marche en environnement chaud pour les VIP lavés et la condition SVIP (\* $p < 0,05$ )

	VIP 1	VIP 2	VIP 3	VIP 4	VIP 5
VIP 1					
VIP 2	0,374				
VIP 3	0,621	0,178			
VIP 4	1,000	0,621	0,621		
VIP 5	0,374	0,178	1,000	0,704	
SVIP	<b>0,021*</b>	<b>0,022*</b>	<b>0,035*</b>	<b>0,021*</b>	<b>0,035*</b>

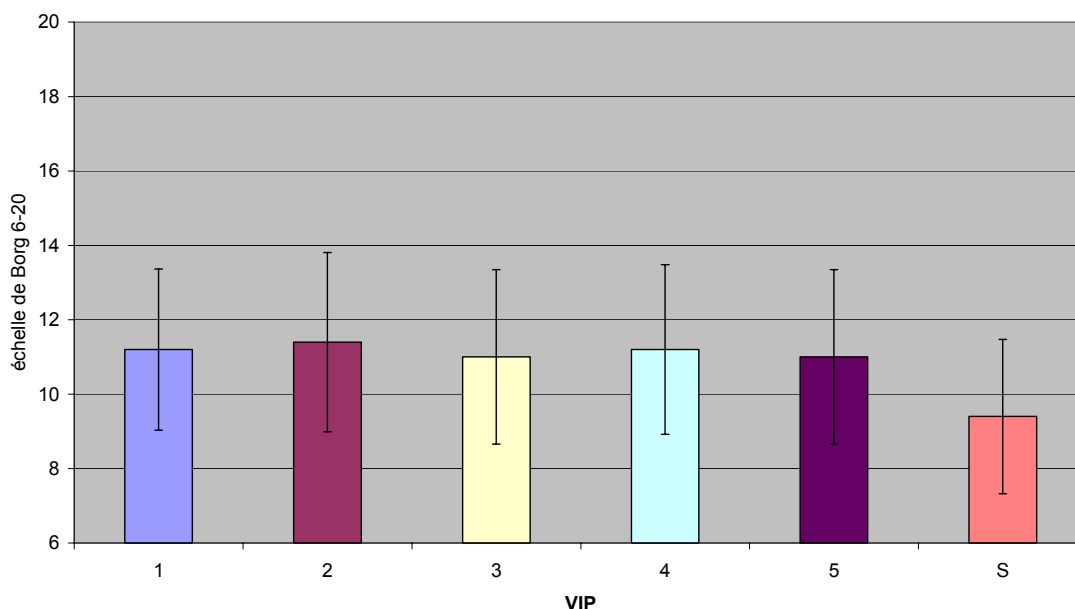


Figure 4.57 Distribution de l'évaluation psychophysique pour les VIP 1 à 5 (lavés) ainsi que la condition SVIP durant le test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré pour le temps relatif 100 %.

Cette comparaison entre les conditions VIP et la condition SVIP a permis de constater que le port du VIP impose une demande physiologique plus importante. Outre la température corporelle, l'ensemble des variables étudiées en environnement chaud présente des différences significatives entre ces deux conditions.

## 4.6 Comparaison entre les tests en environnement tempéré et en environnement chaud

La comparaison entre les tests en environnement tempéré et ceux réalisés à une température plus élevée permet de quantifier l'augmentation des contraintes physiologiques créées par les conditions climatiques. La figure 4.58 présente les comparaisons entre ces deux environnements pour toutes les variables dépendantes durant les tests de marche avec les cinq VIP confondus. Selon les résultats toutes ces courbes sont plus élevées en environnement chaud qu'en environnement tempéré. Les analyses statistiques démontrent que certaines variables obtiennent des différences entre les deux conditions. Le tableau 4.22 présente que trois de ces variables (Fc, CC et température cutanée) obtiennent une différence significative pour le facteur environnement. Pour visualiser leur tendance, la figure 4.59 présente les valeurs moyennes obtenues à la fin des tests. Cette figure permet de réaliser que pour les trois variables significatives, la réponse physiologique est plus importante en environnement chaud. Plus spécifiquement, la différence entre les deux environnements est de 13.2 bpm au niveau de la Fc, elle est de 13.7 bpm pour le CC tandis que pour la température cutanée elle est de 1.5°C. Cependant, les résultats de l'évaluation psychophysique ne sont pas significatifs avec le seuil de  $p < 0,05$  choisi pour l'étude et l'augmentation fut de 0.9 sur l'échelle de Borg 6-20. Pour la consommation d'oxygène, l'augmentation de la température et de l'humidité relative n'a pas entraîné de hausse significative pour cette variable. Selon ces résultats, la consommation d'oxygène ne serait pas ou encore moins affectée par les conditions environnementales que les autres indicateurs de la charge physiologique évaluée.

Tableau 4.22 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt des variables dépendantes à la 20<sup>e</sup> minute des tests de marche en environnement tempéré et chaud avec les VIP lavés. Analyses statistiques pour le facteur environnement (\* $p < 0,05$ )

	P-valeurs
Fréquences cardiaques	<b>0,033*</b>
Coût cardiaque	<b>0,017*</b>
Température cutanée	<b>0,002*</b>
Consommation d'oxygène	0,343
Évaluation psychophysique	0,077

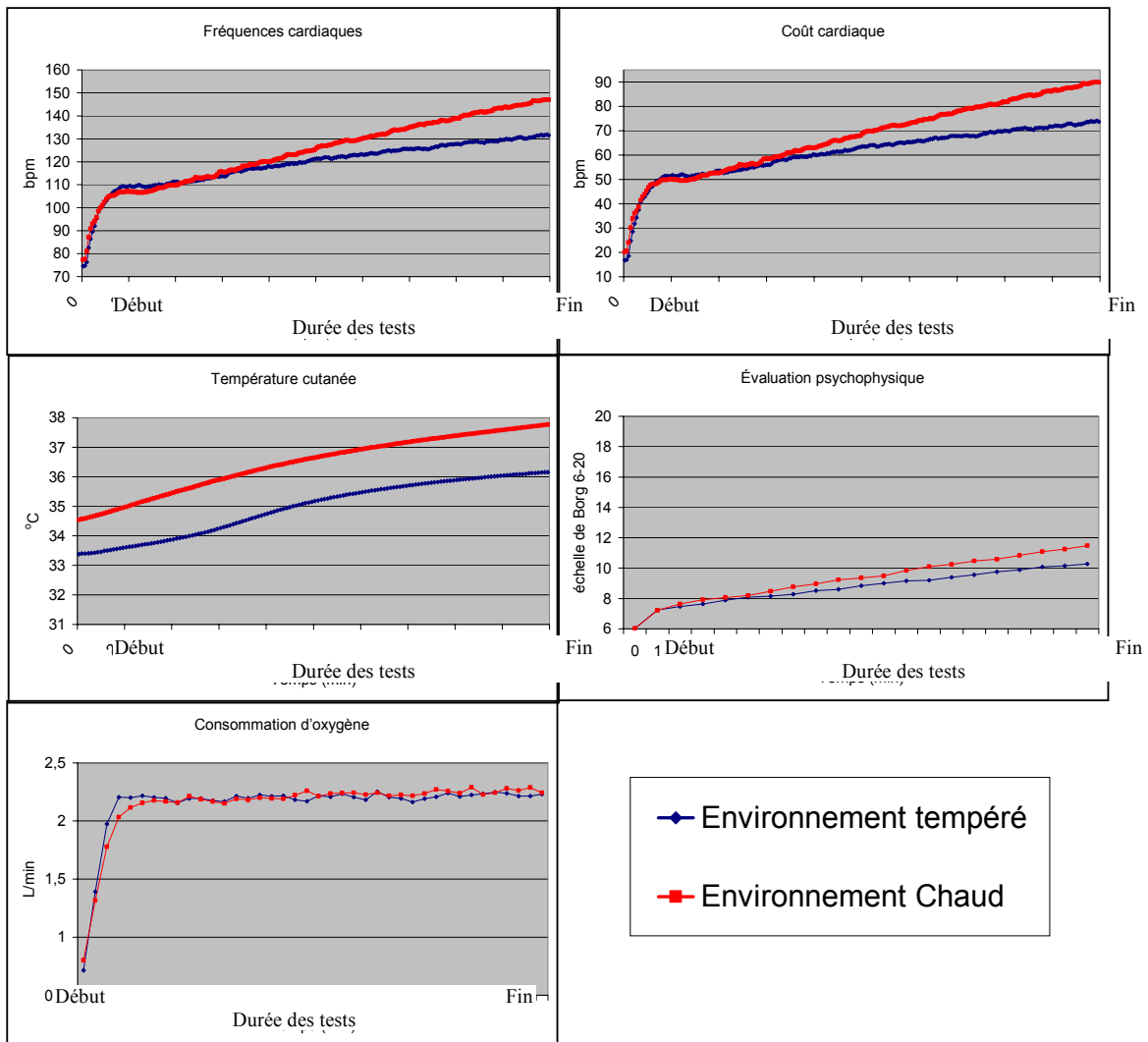


Figure 4.58 Distribution des différentes variables dépendantes durant le test de marche sur tapis roulant en environnement tempéré et chaud. Valeurs tirées à partir des VIP 1 à 5 (lavés).

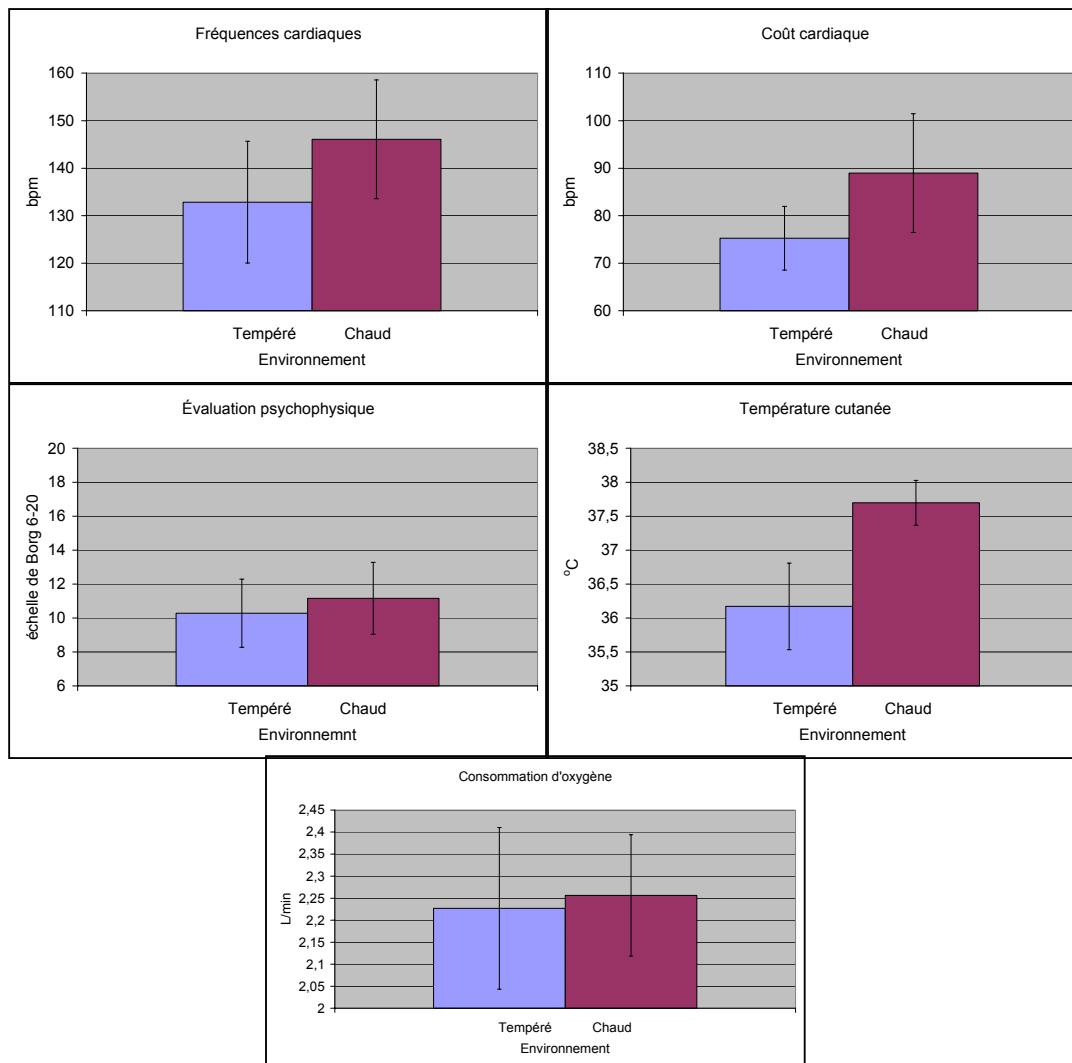


Figure 4.59 Comparaison entre les environnements tempéré et chaud à la fin des tests pour les différentes variables dépendantes : fréquence cardiaque, coût cardiaque, évaluation psychophysique, température cutanée et consommation d’oxygène.

## 4.7 Les résultats des analyses EMG

Les résultats des analyses statistiques n’ont pas permis de démontrer que le port des différents VIP entraînait des variations importantes de la demande musculaire pour les muscles responsables de la flexion de l’épaule et de l’extension du coude. Au niveau du lavage, les résultats ne permettent pas non plus de valider son influence sur la mobilité des membres supérieurs lors de la réalisation d’une tâche simulant la montée d’une échelle. Selon les analyses statistiques présentées aux tableaux 4.23 et 4.24, le PUM moyen du deltoïde antérieur droit ne présente aucune variation significative pouvant être associée à l’effet du lavage ou au port des différents VIP utilisés dans cette étude. Malgré cette absence de résultats significatifs, on dénote

que le lavage semble entraîner une augmentation du PUM moyen de 5 % (figure 4.60). Cette augmentation pourrait être attribuable à un rétrécissement de certaines couches qui constituent les VIP. Cette hausse non significative associée au lavage dépendrait peut-être aussi du fait que cette évaluation de la contrainte musculaire causée par le port des différents VIP était toujours réalisée au début de la journée d'expérimentation. Il est donc probable que la chaleur et l'humidité produite à l'intérieur des VIP lors de ces tests aient permis aux tissus de reprendre leur expansion au niveau des joints. La contrainte causée par le rétrécissement des tissus lors du lavage entraînerait une surcharge temporaire aux articulations. Cette surcharge disparaîtrait rapidement avec l'usage du vêtement. Selon la figure 4.61, le VIP 1 présente le PUM moyen du deltoïde antérieur droit le plus élevé avec 54 % comparativement au VIP 5 avec la valeur la plus basse de l'ordre 40 %.

Tableau 4.23 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de l'activation musculaire moyenne du deltoïde antérieur en fonction du test de standardisation des sujets pour les facteurs lavage, VIP et leur interaction (lavage\*VIP)

Deltoïde antérieur		
Lavage	VIP	Lavage*VIP
0,24	0.408	0.720

Tableau 4.24 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de l'activation musculaire moyenne du deltoïde antérieur en fonction du test de standardisation des sujets pour les VIP (\* $p < 0,05$ )

	VIP 1	VIP 2	VIP 3	VIP 4	VIP 5
VIP 1					
VIP 2	0,265				
VIP 3	0,155	0,414			
VIP 4	0,729	0,495	0,670		
VIP 5	0,168	0,729	0,328	0,290	

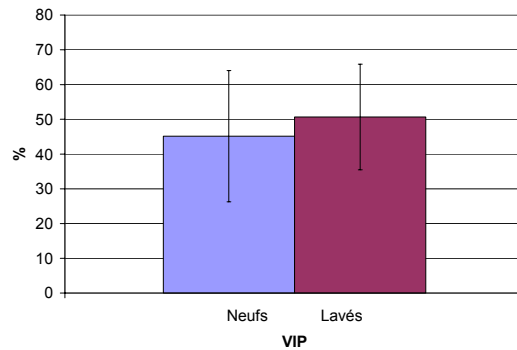


Figure 4.60 Pourcentages d’activation musculaire moyens du deltoïde antérieur en fonction du test de standardisation pour le facteur lavage durant le test de mobilité des membres supérieurs.

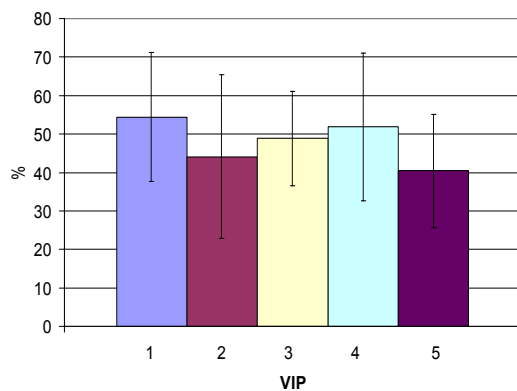


Figure 4.61 Pourcentages d’activation musculaire moyens du deltoïde antérieur en fonction du test de standardisation pour le facteur VIP durant le test de mobilité des membres supérieurs.

Pour les PUM moyens du triceps brachial droit, les résultats des analyses statistique ne démontrent pas non plus de différences significatives associées au lavage et aux différents VIP (tableaux 4.25 et 4.26). Toutefois, il est intéressant de constater que le lavage semble avoir tendance à abaisser le coût musculaire moyen du principal extenseur du coude (figure 4.62). Cette baisse de 2 % non significative va dans le même sens que les résultats obtenus avec les mesures physiologiques plus globales. Toutefois, cette tendance est contraire à celle observée pour le deltoïde antérieur qui est un muscle responsable de la flexion de l’épaule. Cette différence pourrait provenir du fait qu’il n’y a pas de joint sur les manches des VIP au niveau du coude, contrairement à l’épaule où on retrouve la présence d’une couture susceptible d’être influencée par le lavage. De plus, en prenant pour acquis que le lavage causerait un rétrécissement des tissus et donc du volume cylindrique des manches, cette situation ne pourrait qu’entraîner un allègement du travail des muscles responsables de l’extension du coude. Cette



situation aurait plutôt pour effet de surcharger des muscles responsables de la flexion du coude comme le biceps brachial.

Pour ce qui est de l'influence du vêtement porté, la figure 4.63 présente le PUM moyen du triceps brachial pour les cinq VIP étudiés. Selon ces résultats, le port de VIP 5 semble être le plus contraignant avec un PUM moyen 9.1 % alors que le VIP 4 obtient la plus basse valeur avec 4.7 %.

Avec l'analyse de l'interaction entre le lavage et les VIP (voir les figures 4.64 et 4.65), on remarque que cette valeur élevée obtenue pour le VIP 5 semble particulièrement plus importante lorsque celui-ci était neuf. Lorsqu'il est neuf ce VIP présente un PUM moyen de 12,9 %, ce qui constitue la plus haute valeur obtenue pour le triceps.

Tableau 4.25 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de l'activation musculaire moyenne du triceps en fonction du test de standardisation des sujets pour les facteurs lavage, VIP et leur interaction (lavage\*VIP) (\* $p < 0,05$ )

Triceps		
Lavage	VIP	Lavage*VIP
0.208	0.254	0.328

Tableau 4.26 Résultats des analyses statistiques avec correction Huynh-Feldt de l'activation musculaire moyenne du triceps en fonction du test de standardisation des sujets pour les VIP (\* $p < 0,05$ )

	VIP 1	VIP 2	VIP 3	VIP 4	VIP 5
VIP 1					
VIP 2	0,242				
VIP 3	0,449	0,208			
VIP 4	0,198	0,103	0,828		
VIP 5	0,234	0,334	0,268	0,221	

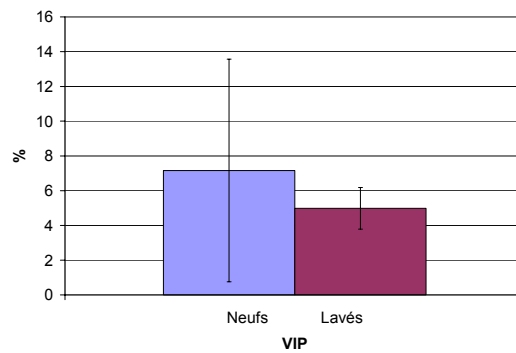


Figure 4.62 Pourcentages d'activation musculaire moyens du triceps en fonction du test de standardisation pour le facteur lavage durant le test de mobilité des membres supérieurs.

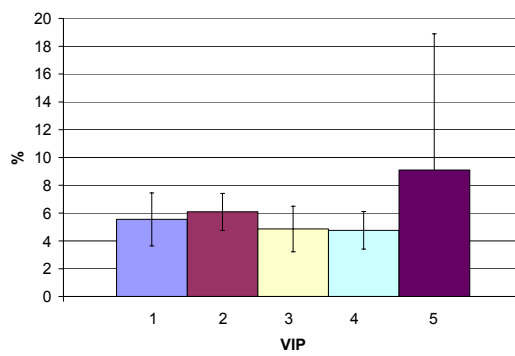


Figure 4.63 Pourcentages d'activation musculaire moyens du triceps en fonction du test de standardisation pour le facteur VIP durant le test de mobilité des membres.

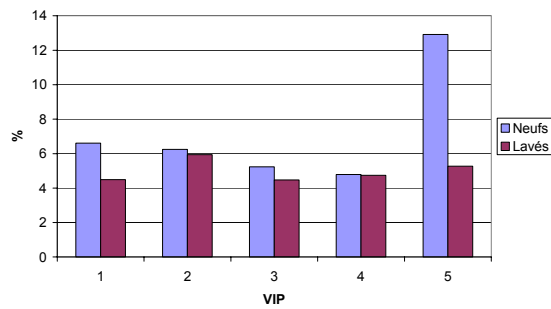


Figure 4.64 Interaction entre les pourcentages d'utilisation musculaire moyens du triceps pour les facteurs VIP et lavage.

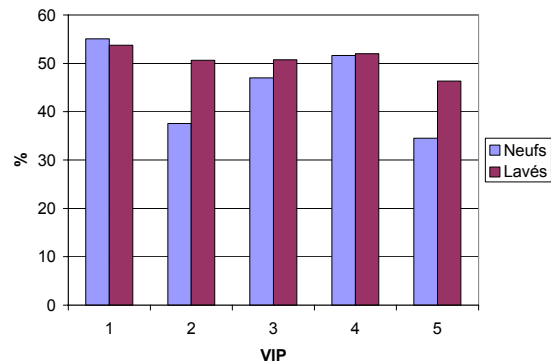


Figure 4.65 Interaction entre les pourcentages d'utilisation musculaire moyens du deltoïde antérieur pour les facteurs VIP et lavage.

## 5. DISCUSSION

L'objectif de cette étude était de documenter les avantages et les désavantages qu'entraîne le port de certains modèles de VIP synthétiques. Pour atteindre cet objectif, cinq sujets ont effectué des tests d'appréciation subjective du confort en plus des tests de marche en environnement tempéré et chaud. La discussion est subdivisée en quatre sections afin de simplifier la compréhension des résultats obtenus. La première section présente l'objectif principal de cette étude soit, d'identifier le VIP qui favorise l'efficacité du travail chez les pompiers. Par la suite une discussion sur l'effet du lavage est abordée et elle se poursuit avec l'explication de l'interaction entre les VIP et leurs lavages. Finalement, l'influence de l'environnement sur les adaptations physiologiques est aussi traitée à la fin de ce chapitre.

### 5.1 Les vêtements individuels de protection

Les VIP évalués dans cette étude sont tous des modèles deux pièces présentant peu de différence dans leurs composantes (voir tableau 4.2). De plus, il est important de préciser que le poids, les coupes et l'assemblage des VIP étaient très similaires et que les cinq produits provenaient de deux compagnies seulement (3 compagnie A et 2 compagnie B). Cette section comprend plusieurs parties afin de présenter tous les aspects de la charge de travail reliée aux VIP. Tout d'abord, les contraintes associées au port des VIP seront présentées. Cette section comprend aussi les contraintes physiologiques supplémentaires qu'entraîne le port des VIP en comparaison à la condition SVIP. Par la suite, les VIP seront comparés entre eux.

#### 5.1.1 Adaptations physiologiques entraînées par le port d'un VIP

Les résultats de l'étude démontrent que le port du VIP impose des contraintes physiologiques très importantes. En effet, il est constaté qu'un exercice, à l'intensité retenue pour les tests (40 % de la  $VO_2$ max en tenue sportive), implique parfois des adaptations physiologiques qui peuvent être dangereuses pour la santé des sujets. Par exemple, avec le port des VIP en environnement chaud, la valeur maximale moyenne de la température cutanée était de  $37,7^{\circ}C (\pm 0,4^{\circ}C)$ . Cette valeur est très importante, puisqu'une température cutanée supérieure à  $35^{\circ}C$  indique que la température corporelle devient un facteur limitatif dans la performance. De plus, la température cutanée est considérée comme une réponse limite lorsqu'elle atteint  $38^{\circ}C$  (Christensen, 1953 ; Tattersall et Thomas, 1985). Par conséquent, les résultats de cette étude démontrent que les sujets sont entrés dans la zone à risque avec des valeurs moyennes de  $36,2$  et  $37,7^{\circ}C$  obtenues dans les environnements tempérés et chauds respectivement.

Pour leur part, les adaptations de la Fc représentent elles aussi une charge de travail trop exigeante qui est attribuable au port du VIP. Cette surcharge est atteinte lors des tests en environnement chaud. En effet, les tests ont été arrêtés à 15 reprises sur une possibilité de 50, neuf de ces arrêts concernaient le sujet 4 alors que les autres s'appliquaient au sujet 1. La raison qui a mené à l'arrêt des tests est que les Fc des sujets atteignaient 85 % de leur Fc maximale. Pourtant, des précautions avaient été prises afin de ne pas atteindre le seuil anaérobie et par le fait même, une intensité de travail trop exigeante. L'intensité de travail était basée sur la littérature qui propose qu'en fonction de l'effort initial exigé par les tests, le surplus de poids

imposé par le port du VIP et de l'ARA augmente la consommation d'oxygène entre 20 et 34,8 % (Davis et Santa Maria 1975; Louhevaara et coll., 1984; Louhevaara et coll., 1985; O'Connell, Thomas, Cady et Karwasky, 1986; Louhevaara et coll., 1986; Davis et Dotson, 1987; Sköldström, 1987).

Ainsi, une intensité de 30 % inférieure au seuil anaérobie d'un sujet entraîné avait été retenue (40 % de la  $VO_2\text{max}$ ). Avec cette réduction, l'intensité des tests se serait tout de même rapprochée des valeurs d'accumulation d'acide lactique d'un sujet entraîné. C'est pourquoi les charges supplémentaires ont été enlevées de l'équipement. Ainsi, le casque et les bottes n'ont pas été portés et la bouteille d'oxygène n'était pas installée sur le harnais. Ces trois charges auraient augmenté la charge de travail sans pour autant permettre de discriminer les VIP. Cependant, la cagoule et les gants étaient portés afin d'éviter la modification des propriétés de la perméabilité du VIP en empêchant l'humidité de sortir par les extrémités des manches, des chevilles, de la taille et du cou. Pour ces raisons, les extrémités du VIP au niveau des chevilles étaient fermées à l'aide de bandes élastiques. Dans un même ordre d'idées, le harnais était porté puisque, en plus de fermer l'extrémité du VIP à la taille, il comprime et compartimente l'intérieur du manteau avec ses bretelles.

Avec ces modifications, les conditions choisies n'étaient pas représentatives de l'intensité ou des conditions de travail des pompiers. À cet effet, des articles documentant la charge de travail des pompiers démontrent qu'il serait très exigeant pour les sujets de simuler ces intensités (Barnard et Duncan, 1975; Davis et Dotson, 1987; Lusa et coll., 1991). Par contre, l'objectif de cette étude n'était pas de documenter la charge de travail des pompiers, mais bien de discriminer lequel des VIP est le plus adéquat pour eux. Pour cette raison, les charges de travail étaient diminuées afin de faire ressortir les différences au niveau des VIP, sans pour autant nécessiter des efforts très intenses et dangereux pour la santé des sujets. Le choix de l'intensité n'avait pas pour seul but de préserver la santé des sujets, il servait aussi à différencier les VIP entre eux. Tout comme il a été démontré dans des études visant à discriminer les VIP, lorsque les pompiers travaillent à une intensité trop élevée, la différence n'est pas nécessairement au niveau de la réponse physiologique. Elle pourrait se situer au niveau de la performance ou de la durée, car les pompiers travaillent à une intensité près de leur capacité maximale (Manning et Griggs, 1983; Tack, Webb et Walsh, 1984; Tattersall et Thomas, 1985). Malgré toutes ces précautions, certains tests ont dû être interrompus à cause des valeurs trop importantes atteintes par les indices physiologiques. Ces valeurs ont été atteintes puisque la thermorégulation, entravée par le port du VIP, n'arrivait pas à s'adapter aux conditions environnementales et à la chaleur métabolique produite par le travail musculaire (Sköldström, 1987; Smith et coll., 2001; McArdle, Katch et Katch, 2001).

Par conséquent, les processus de thermorégulation ont affecté les Fc en environnement tempéré et chaud. Les adaptations physiologiques de la Fc en environnement tempéré démontrent que les astreintes cardiaques, reliées au port des VIP, se situent à la classe « modérée » (132 bpm). Toutefois, en environnement chaud ses valeurs passent à la classe « élevée » (146 bpm). Ces références concernent les efforts occasionnels (moins de 30 minutes) et elles proviennent du tableau de Monod et Kapitaniak (2003) présenté en annexe.

Ce tableau permet aussi de constater que les astreintes cardiaques (comportement des CC) reliées au port du VIP en environnement tempéré, se situent au-dessus de la classe « élevée ». Les résultats en environnement chaud présentent des classes encore plus élevées où la condition VIP (89 bpm) obtient le résultat « très élevé ». Ces résultats démontrent que l'effort demandé est très important. D'ailleurs, pour Brouha (1963), les CC moyens d'une journée de travail ne devraient pas dépasser 30-35 bpm. Par contre, pour des périodes brèves, les CC peuvent aller jusqu'à 45 à 50 bpm. Avec ces constatations, il est permis de dire que la tâche effectuée par les pompiers pour ce test serait beaucoup trop exigeante pour être maintenue pendant un quart de travail.

### 5.1.1.1 Augmentation entre les conditions SVIP et VIP en environnement tempéré

Bien que les adaptations physiologiques reliées au port des VIP soient très importantes, il est possible de connaître la charge de travail provenant du port de ceux-ci. Pour ce faire, les conditions SVIP et VIP peuvent être comparées. À la suite des analyses des tests de marche en environnement tempéré, des différences significatives entre la condition SVIP et les conditions avec VIP sont ressorties au niveau de plusieurs indicateurs physiologiques. D'après ces résultats, la contrainte physiologique est augmentée par le port d'un VIP. Même si les différences significatives se retrouvent au niveau de la Fc, du CC, de la température cutanée et des évaluations psychophysiques, la tendance des conditions avec et sans le port des VIP n'a pas toujours été la même pour tous ces indices. Par exemple, lors de la condition SVIP en environnement tempéré, les données de la Fc et du CC ont atteint un plateau après les premières minutes des tests alors que celles de la température cutanée et de l'évaluation psychophysique ont continué à présenter une augmentation. Par contre, pour les conditions avec le port des VIP, plusieurs indices physiologiques ont eu une augmentation continue. Une partie de la différence entre les conditions VIP et SVIP peut être attribuée au poids et aux contraintes mécaniques des VIP, mais ces deux éléments ne justifient pas l'augmentation continue retrouvée pour certains des indicateurs physiologiques. D'ailleurs, si l'augmentation continue était attribuable en partie ou totalement, au poids et aux contraintes mécaniques exercés sur les articulations par les VIP, la consommation d'oxygène aurait subi aussi une augmentation continue. Cependant, les résultats reliés à la consommation d'oxygène démontrent bien que les conditions avec VIP ont atteint un plateau après les premières minutes de l'exercice. Au cours de ces tests, si les processus de thermorégulation avaient pu maintenir la température corporelle à un niveau stable, un plateau aurait sûrement été observé sur la mesure de la Fc entre la troisième et la vingtième minute tandis que la température corporelle serait restée sensiblement la même. Cependant, ce ne fut pas le cas, car l'augmentation durant cette période fut de 22 bpm pour la Fc et de 2,4°C pour la température. Lorsqu'on compare les résultats obtenus à la fin des tests avec ceux de la condition SVIP, on constate que le port des VIP cause une augmentation importante de la charge cardiorespiratoire avec une différence de 30 bpm pour la Fc et le CC. Cette augmentation semble de toute évidence être associée à la hausse de 3,5°C de la température cutanée. De plus, cette surcharge serait corroborée par la perception des sujets qui démontre une augmentation de 2,28 sur l'échelle de Borg lors de l'évaluation psychophysique. Ces résultats appuient les conclusions des auteurs rapportées dans les études antérieures. Selon eux, le port des VIP est considéré comme un facteur nuisible à la thermorégulation des pompiers puisqu'il préserve la chaleur (Davis et Santa Maria, 1975; Lemon et Hermiston, 1977; Duncan, Gardner et Barnard, 1979; Davis, Dotson et Santa Maria, 1982; Sköldström, 1987; Faff et coll., 1989; Smith et coll., 1995; Smith et Petruzzello, 1998; Baker et coll., 2000; Cloutier et Champoux, 2000; Ftaiti et coll.,

2001; Griefahn et coll., 2003). Toutefois, ces auteurs précisent que les contraintes physiologiques proviennent aussi du port d'un équipement lourd (VIP et ARA) et des efforts physiques importants dans des conditions où la chaleur ambiante est très élevée.

### **5.1.1.2 Augmentation entre les conditions SVIP et VIP en environnement chaud**

L'effet de la chaleur ambiante, relevé par certains auteurs, dirige la discussion vers les résultats obtenus lors des tests de marche réalisés en environnement chaud. Pour la plupart des indices physiologiques, les adaptations furent une augmentation continue. Tout comme en environnement tempéré, les adaptations physiologiques ne sont pas reliées à un effort physique de plus en plus pénible. En effet, il a été démontré par la consommation d'oxygène que l'effort demeure constant pour toute la durée des tests. Par conséquent, les augmentations continues des autres indices physiologiques ne peuvent pas être reliées aux contraintes mécaniques et au surplus de poids imposé par les VIP, mais plutôt aux propriétés d'imperméabilité des VIP qui nuisent à la thermorégulation des pompiers. D'ailleurs, d'autres études sur la comparaison entre le port d'un VIP et une condition SVIP en environnement chaud ont elles aussi rapporté que ces différences s'expliquent principalement par la thermorégulation qui est limitée par le port des VIP puisqu'ils entravent l'évaporation de la sueur (Tack, Webb et Walsh, 1984; Skölström, 1987).

Par contre, l'environnement chaud influence aussi certains indices physiologiques mesurés au niveau de la condition SVIP. Ainsi, même si les adaptations physiologiques en environnement chaud sont plus importantes qu'en environnement tempéré, la différence entre les conditions VIP et SVIP est plus petite. Cette diminution entre les deux conditions est si importante qu'au niveau de la température cutanée, les différences (0,35 à 0,65°C) ne sont même plus significatives. D'ailleurs au niveau de la Fc et du CC, on retrouve seulement 15 bpm de différence entre les deux conditions, alors qu'en environnement tempéré cette différence était de 30 bpm. Cependant, la différence entre les conditions VIP et SVIP est moindre puisque cette dernière est elle aussi affectée par l'environnement. Ceci démontre qu'en environnement chaud et humide la pénibilité de la tâche est plus importante.

### **5.1.2 Comparaison entre les modèles de VIP**

Les résultats de la présente étude démontrent que l'expérience n'a pas mené à l'obtention de différences significatives concluantes entre les modèles de VIP synthétiques évalués. Même si les indices physiologiques ont tous présenté des variations importantes lors des tests de marche, le comportement des adaptations physiologiques est le même d'un VIP à l'autre selon les analyses statistiques. Pendant ces tests, une seule différence significative fut obtenue entre deux VIP et elle fut obtenue entre les VIP 3 et 4 au niveau de la Fc en environnement tempéré. Par contre, cette différence fut contredite par le CC dans le même environnement. Cette contradiction entre les deux indices laisse présager que la différence significative fut aussi influencée par une variable extrinsèque. Il s'agit de la condition physique des sujets avant les tests, car certains sujets n'ont pas respecté la consigne de l'inactivité physique 24 heures avant les tests. Avant les tests, les sujets devaient nous informer s'ils avaient pratiqué de l'exercice physique intense les 24 heures précédant le test. Or, un des sujets est allé, à quelques reprises, jouer au hockey la veille d'un de ses tests. Dans ces occasions, il était rappelé au sujet qu'il était

préférable de ne pas faire d'activité 24 heures avant les tests. La Fc de repos a permis de valider l'influence de cette activité sur le métabolisme de repos du sujet. Pour ce dernier, les Fc de repos présentaient des variations, entre deux jours de tests, allant jusqu'à 18 bpm. Un autre sujet tenait absolument à se déplacer en vélo, et ce, même si une discussion avec ce dernier lui conseillait fortement de ne pas le faire. Au cours d'une même journée de test, les Fc de repos de ce sujet pouvaient diminuer de 10 bpm entre les deux tests. Évidemment, les Fc de repos les plus hautes se retrouvent toujours lors du premier test, donc immédiatement après son vélo. Dans ces occasions, on rappelait au sujet qu'advenant le cas où il utilisait son vélo, il était préférable de se déplacer lentement afin de minimiser l'influence de cette activité sur les tests.

Une autre spécification doit être apportée puisque les VIP avaient tous les mêmes dimensions. En revanche, comme il est présenté au tableau 4.1 les sujets n'avaient pas la même taille et le même poids. Lors de la demande initiale de l'étude, les sujets devaient avoir un VIP adapté à leur anthropométrie. La Ville de Montréal avait approuvé ce point, mais cette demande n'a pas été retenue et les VIP ont plutôt été commandés selon une grandeur précise et les sujets devaient être choisis afin de répondre aux caractéristiques des VIP. Cette décision a été prise par la Ville de Montréal et les raisons sont encore inconnues. Cependant, il apparaît évident que les sujets n'ont pas tous les mêmes caractéristiques physiques. En examinant la taille et le poids des sujets au tableau 4.1, on peut constater qu'un sujet de 1,82 cm et 96 kg ne prendra pas un VIP aux mêmes dimensions qu'un sujet de 1,63 cm et 81 kg. Même si les dimensions du VIP n'étaient pas adaptées parfaitement pour chaque sujet, cette contrainte demeurait constante pour chacun des VIP puisqu'ils ont tous la même grandeur.

Au niveau des résultats, la condition physique des sujets avant les tests et la taille des VIP n'expliquent pas à elles seules pourquoi les VIP n'ont pas obtenu de différence significative entre eux. Plusieurs auteurs ont réalisé des études sur les VIP, mais peu sont parvenus à obtenir des différences significatives entre deux types de VIP (Tattersall et Thomas, 1985; Mawby et coll. 1987; Baker et coll. 1998; Ftaiti et coll., 2001). La seule de ces études ayant obtenu des différences significatives au niveau des adaptations physiologiques est l'étude de Ftaiti et coll. (2001). Les différences observées dans cette étude ont été obtenues avec un VIP ayant des propriétés différentes des VIP synthétiques, le VIP de cuir. Or, l'étude présente a été réalisée avec cinq VIP synthétiques qui ont des caractéristiques très similaires.

Toutefois, une différence significative a été obtenue entre les VIP lors d'un test psychophysique. Selon le test de torsion du tronc avec un genou au sol, il est plus contraignant d'effectuer ce mouvement avec le VIP 3 que les VIP 1, VIP 2 et VIP 5. Ainsi, il est favorable d'utiliser ces VIP au lieu du VIP 3 pour tous les travaux qui obligent le pompier à effectuer une torsion du tronc avec un genou au sol. Par le fait même, ce mouvement peut être associé à plusieurs tâches de travail du pompier qui comprennent l'utilisation des outils sur le sol.

Pour ajouter à la discussion sur la différence entre les VIP, le classement présenté à la figure 4.2 apporte un élément intéressant. Grâce à cette figure, il a été possible de faire ressortir que le VIP 3 semblait le moins apprécié des pompiers. Il s'est classé dernier à 14 des 17 tests d'appréciation subjective du confort. De plus, les sujets avaient la possibilité de donner leurs commentaires sur le VIP utilisé pour le test. Certains de ces commentaires viennent justifier le classement des VIP fait à l'aide de leur rang lors des tests d'appréciation subjective du confort.



Entre autres, ces commentaires peuvent expliquer les résultats plus faibles du VIP 3, car plusieurs sujets n'ont pas aimé les genouillères de ce VIP. D'ailleurs, les genouillères des VIP 1, VIP 3 et VIP 5 ont toutes reçu des commentaires négatifs, car les VIP 2 et 4 étaient munis de genouillères mieux adaptées. D'autres détails ont aussi influencé les évaluations des sujets, la doublure intérieure du VIP 3 n'était pas appréciée et les ajustements en métal (VIP 2 et 4) étaient préférés à ceux en plastique (VIP 1-3-5). Selon certains sujets, ces ajustements sont plus efficaces.

## 5.2 L'effet du lavage des VIP

Le lavage répété des VIP devait permettre d'assouplir les matériaux qui forment les différentes couches des vêtements. Avec le lavage, les résultats présentent des réductions de la Fc, du CC et de l'évaluation psychophysique. Cette réponse est présente pour les tests de marche en environnement tempéré et chaud. Au niveau de la consommation d'oxygène, la réduction fut significative en environnement tempéré alors qu'en environnement chaud elle présente toujours une diminution associée au lavage, mais elle n'est plus significative.

Étant donné que la demande de la température cutanée est identique pour les deux conditions de ce facteur, les diminutions significatives observées sur les autres indices physiologiques ne sont pas reliées à la thermorégulation. Elles proviennent plutôt d'un allègement de la dépense énergétique des sujets. D'abord, l'effort peut être allégé par une réduction de la charge transportée, par conséquent le poids de l'équipement (VIP, harnais, gants, cagoule, et vêtement). Ensuite, l'allègement peut provenir d'une diminution des contraintes mécaniques imposées aux sujets. Au cours des tests, le poids de l'équipement porté par les sujets était toujours constant. Par contre, la diminution de la contrainte mécanique peut expliquer l'allègement des contraintes physiologiques. Après dix lavages, les VIP offraient plus de souplesse au niveau des articulations réduisant ainsi les contraintes mécaniques. De façon plus concrète, les résultats démontrent que le facteur lavage implique, en environnement tempéré, les diminutions suivantes : 4,2 % pour la Fc, 7,7 % pour le CC, 7,6 % pour l'évaluation psychophysique et 3,8 % pour la consommation d'oxygène. En environnement chaud les diminutions sont : 5,6 % pour la Fc, 7,4 % pour le CC, 5,4 % pour l'évaluation psychophysique et 3,4 % pour la consommation d'oxygène. Mise à part l'évaluation psychophysique, les différences produites par le lavage sont toujours comparables pour les deux environnements. Ce qui suggère que l'effet bénéfique du lavage est sensiblement le même dans les deux environnements.

Il est important de préciser qu'une variable extrinsèque aurait pu influencer les résultats du facteur lavage en environnement tempéré. Afin d'obtenir des tests fidèles et valables, certaines variables extrinsèques devaient être contrôlées. Deux d'entre elles font partie de l'environnement et il s'agit de la température et de l'humidité relative de la pièce. Comme il a été présenté dans le chapitre « résultats », la température de la pièce fut constante pour tous les tests en environnement tempéré (21°C). Par contre pour cet environnement, l'humidité relative a subi des variations statistiquement différentes. Ces variations proviennent des changements climatiques à l'extérieur du bâtiment puisque l'air provenant de la climatisation est directement influencé par l'humidité relative à l'extérieur. Même avec l'utilisation des humidificateurs et des systèmes de chauffage auxiliaire, l'humidité relative ne pouvait pas être contrôlée, car elle était influencée de quelques pour cent seulement. La contrainte pouvant être apportée par le niveau d'humidité

relative était de limiter l'évaporation de la sueur à la surface de la peau. Plus l'humidité relative est élevée, plus l'air est saturé, donc il est difficile pour la sueur de s'évaporer (Monod et Kapitaniak, 2003). En se basant sur ces faits, si l'augmentation de 12 % HR entre la condition « neufs » et « lavés » avait influencé les résultats des indices physiologiques mesurés lors de l'étude, une augmentation de la température cutanée aurait été présente. Cette situation aurait entraîné une augmentation de la Fc afin de répondre à la demande de la thermorégulation. Comme les résultats de la condition « lavés » le démontrent, la température cutanée a une légère augmentation non significative et la Fc présente une diminution. Ces résultats de la Fc sont contraires à l'influence que l'humidité relative aurait pu avoir et l'augmentation de la température corporelle est négligeable. Ces éléments confirment que l'humidité relative ne peut pas être considérée comme un facteur significativement nuisible à l'évaporation de la sueur. D'ailleurs, l'humidité relative de la pièce a une influence réduite. Lorsque les tests débutent, le micro climat à l'intérieur du VIP devient l'environnement qui influence la thermorégulation du sujet. Bien sûr l'humidité relative de la pièce est le point de départ lorsque le sujet met son VIP, mais après quelques minutes, ces valeurs sont plus représentatives de l'humidité relative à l'intérieur des VIP.

### **5.3 L'interaction entre les VIP et leurs lavages**

Parmi les résultats, aucune différence significative n'a été obtenue au niveau de l'interaction entre les VIP et les dix lavages. Toutefois, l'interaction entre ceux-ci servait à vérifier si l'effet des dix lavages pouvait apporter des adaptations physiologiques différentes pour le port d'un VIP en particulier. Ainsi, les indices physiologiques de ce dernier n'auraient pas suivi les tendances générales des VIP. Par contre, les résultats ont démontré que ce n'était pas le cas. Le facteur lavage apporte un effet diminutif de la charge physiologique comparable pour tous les VIP.

### **5.4 La comparaison des environnements**

Les résultats démontrent que l'environnement chaud cause une augmentation des contraintes physiologiques sur presque tous les indices physiologiques. Le seul facteur qui n'a pas subi d'augmentation c'est la consommation d'oxygène. Les valeurs de la consommation d'oxygène restent équivalentes pour les deux environnements. Ces résultats, de cet indice physiologique, présentent que l'environnement n'a aucune influence sur les propriétés mécaniques des VIP. Ainsi, ces VIP ne deviennent pas plus souples ou plus rigides lorsqu'ils sont dans un des deux environnements utilisés pour les tests.

Toutefois, les autres indices physiologiques ne présentent pas cette stabilité. L'environnement chaud implique des contraintes supplémentaires pour la Fc. Comparativement à l'environnement tempéré, la Fc est augmentée de 13 bpm en environnement chaud et cette contrainte supplémentaire a mené à l'arrêt de certains tests. Ces contraintes sont dues au processus de thermorégulation.

Lors des tests, la température cutanée a elle aussi subi des hausses importantes. Même si l'intensité de l'exercice ne représentait que 40 % de la VO<sub>2</sub>max lorsque le sujet est en tenue

sportive, cette intensité a entraîné des températures cutanées près des réponses limites (38°C). En ce qui concerne la différence entre les deux environnements, la température cutanée obtenue dans l'environnement chaud est 1,5°C plus élevée qu'en environnement tempéré. Cette augmentation doit être considérée étant donné qu'en environnement tempéré, les valeurs de la température cutanée (36,2°C) se retrouvent déjà au-dessus de la valeur de 35°C. Cette température cutanée est considérée comme le seuil au-dessus duquel elle devient un facteur limitatif de performance (Christensen, 1953 ; Tattersall et Thomas, 1985).

Finalement, la perception des sujets a présenté une augmentation en environnement chaud, mais elle n'est pas significative. En comparaison avec la Fc, l'évaluation psychophysique à l'aide de l'échelle de Borg est très basse. La perception des sujets ne semble pas directement associée à l'augmentation de leur Fc. Cette différence peut être reliée à la thermorégulation qui n'a pas été prise en considération par ces derniers. Le lien entre ces deux indices n'est donc pas aussi représentatif que dans les autres études (Baker et coll., 2000; Sköldström, 1987).

## 6. CONCLUSION

L'étude avait pour but de documenter les avantages et les désavantages qu'entraîne le port de certains modèles de VIP synthétiques. Tel qu'il a été présenté dans les résultats, aucun de ces VIP n'est ressorti positivement ou négativement de l'ensemble de ces derniers. Les résultats suggèrent plutôt que les VIP ont tous entraîné des adaptations physiologiques très élevées pouvant même être dangereuses pour la santé des pompiers. Effectivement, lors des tests en environnement chaud, les Fc élevées de certains pompiers ont forcé l'arrêt des tests, et ce, malgré une intensité de travail qui représente 40 % de la VO<sub>2</sub>max lorsque le sujet est en tenue sportive. De ce fait, le port d'un VIP peut entraîner des adaptations physiologiques dangereuses lors de la marche puisque l'étude a su démontrer que les Fc ont atteint 85 % de la Fc maximale pour certains sujets alors que la température cutanée moyenne en environnement chaud est de 37,7°C.

Toutefois, même si les différences entre les VIP n'ont pu mettre en valeur certains VIP, les résultats des tests laissent présager qu'il y a place à l'amélioration. Premièrement, en comparaison avec les conditions SVIP, les contraintes physiologiques associées au port des VIP sont très importantes. Pour tous les indices physiologiques des tests en environnement tempéré, on retrouve un écart très important entre ces deux conditions. Par contre, si on se réfère à ces résultats en environnement chaud, les différences entre les conditions VIP et SVIP sont un peu moins marquées, mais les adaptations physiologiques se retrouvent encore plus élevées qu'en environnement tempéré. D'ailleurs, la contrainte supplémentaire de cet environnement doit être prise en considération puisque l'environnement chaud est représentatif des lieux de travail des pompiers. Deuxièmement, les dix lavages subis par les VIP ont été suffisants pour réduire de façon significative la contrainte physiologique demandée aux pompiers.

Les résultats de tous ces tests démontrent que les différentes conceptions de VIP devraient représenter une préoccupation majeure puisqu'elles peuvent améliorer ou nuire à l'efficacité du travail des pompiers. Ainsi, la conception des VIP devrait prioriser l'évaporation de la sueur grâce à une meilleure perméabilité des tissus, car cette propriété est très nuisible aux processus de thermorégulation des pompiers. D'ailleurs, les valeurs très élevées atteintes par les indices physiologiques lors des tests de marche sont reliées directement à ces processus de thermorégulation. En second lieu, un allègement de la charge de travail peut être réalisé avec la diminution du poids des VIP et de l'équipement. Par la suite, la diminution des contraintes mécaniques associées aux VIP devrait être considérée puisque les dix lavages subis par les VIP ont suffi pour démontrer une réduction de certains indices physiologiques d'environ 5 %. Par conséquent, ce résultat permet de constater que les VIP devraient être conçus de façon à offrir le plus de liberté de mouvement possible au niveau des articulations (genoux, hanches, épaules et coudes).

Finalement, les tests réalisés dans cette étude ont permis de discriminer les contraintes reliées au port des VIP. Par contre, il serait intéressant de réaliser d'autres tests qui impliqueraient une intensité un peu moins exigeante avec des VIP mieux adaptés à l'anthropométrie des sujets. D'autre part, l'environnement chaud devrait être considéré même s'il apporte des contraintes physiologiques supplémentaires. À la suite de ces modifications, il serait probablement possible d'obtenir une différence entre les VIP, mais il est d'abord plus important de réduire la contrainte reliée au port de ces derniers.

## 7. RECOMMANDATIONS

- La charge de travail reliée aux propriétés des VIP devrait être réduite. Pour ce faire, les facteurs à considérer sont dans l'ordre :
  1. Les propriétés des VIP qui nuisent à l'évaporation de la sueur
  2. La rigidité des matériaux utilisés dans la confection des tissus
  3. Le poids des VIP
  
- Les modèles une pièce devraient être considérés dans une prochaine étude puisqu'ils n'ont pas de superposition entre le manteau et le pantalon au niveau de la hanche. Cette superposition augmente les contraintes mécaniques imposées à cette articulation.
  
- Tous les pantalons des VIP devraient posséder un rembourrage supérieur au niveau des genouillères afin de prendre en considération la réalité du travail des pompiers. Cette caractéristique, au niveau des genouillères, était présente pour les VIP 2 et 4. D'ailleurs, ces derniers ont été les plus appréciés lors des tests, d'appréciation subjective du confort, qui simulaient le travail des pompiers.
  
- Suite aux tests d'appréciation subjective du confort, le VIP 3 s'est avéré comme le moins efficace des VIP. Ces tests ont démontré que le travail des pompiers, lorsqu'ils ont un genou au sol, sera plus exigeant avec le port du VIP 3. De plus, ce VIP a été classé dernier à 14 des 17 tests. Ces résultats font en sorte que le VIP 3 s'avère un choix moins adapté au travail des pompiers malgré le fait qu'il impose une contrainte physiologique similaire aux autres VIP lors des tests de marche.

## 8. RÉFÉRENCES

- Abeles, F.J., Del Vicchio, R.J. et Himel, V.H. (1973). A fire fighter's integrated life protection system. Phase I, Design and Performance Requirements (Gruman Aerospace Corporation, New York).
- Allard, P. et Blanchi, J.-P. 1996. Analyse du mouvement humain par la biomécanique. Décarie Éditeur, Ville Mont-Royal, 281 p.
- American College of Sport Medicine, (2000), ACSM's Guidelines for Exercise testing and prescription. 6<sup>e</sup> édition. Lippincott Williams et Wilkins, USA, 368 p.
- Baker, R.L., Scruggs, B.J. et Pahsarn, C. (1998). The International Fire Fighter Protective Clothing Breathability Research Project : *mild environment protocol*. National Fire Protection Research Foundation. Quincy. 216 p.
- Baker, S.J., Grice, J., Roby, L. et Matthews, C. (2000). Cardiorespiratory and thermoregulatory response of working in fire-fighter protective clothing in a temperate environment. *Ergonomics*, 43, p. 1350-1358.
- Barnard, R.J. et Duncan, H.W. (1975). Heart rate and ECG responses of fire fighters, *Journal of Occupational Medicine*, Vol. 17, n° 4, p. 247-250.
- Barstow, T.J., Jones, A.M., Nguyen, P.H. et Casaburi, R. (1996). Influence of muscle fiber type and pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise. *Journal of Applied Physiology*, 81, p. 1642-1650.
- Brandt-Rauf, P.W., Fallon jr., L.F., Tarantini, T., Idema, C. et Andrews, L. (1988). Health hazards of fire fighters : exposure assessment, *British Journal of Industrial Medicine*, vol. 45, p. 606-612.
- Brouha, L. (1963). *Physiologie et industrie*. Gauthier-Villars. 2 éd., Paris, 180 p.
- Christensen, E.H. (1953). Physiological evaluation of work in Nykroppa Iron Works. In Lloyd WF, Welford AT (eds) *fatigue*. H.K. Lewis, London.
- Cloutier, E. et Champoux, D. (2000). Injury risk profile and aging among Québec firefighters. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25, p. 513-523.
- Costill, D. L. et coll. 1973. Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med. Sci. Sports*, 5 : 248.
- Coyle, E.F. et Coyle, E. (1993). Carbohydrates that speed recovery from training. *Phys. Sportmed*, 21 : 111

Coyle, E.F. et Coggan, A.R. (1984) Effectiveness of carbohydrate feeding in delaying fatigue during prolonged exercise. *Sports med.* 1 : 446.

Dahlbäck, O.G. et Jorfeldt, D. (1986) Work performance when using close circuit oxygen breathing apparatus. *Journal of Int. Society of Respiratory protection*, 4 (2), p. 95-123.

Davis, P.O., Biersner, R.J., Barnard, R.J. et Schamadan, J. (1982). Medical evaluation of fire fighters : how fit are they for duty, *Postgraduate Medicine*, 72, n° 2, p. 241-248.

Davis, P.O. et Dotson, C.O. (1987). Physiological aspects of fire fighting, *Fire Technology*, vol. 23, n°3, p. 280-291.

Davis, P.O., Dotson, C.O. et Santa Maria, D.L. (1982). Relationship between simulated fire fighting task and physical performance measures, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, vol. 14, n° 2, p. 65-71.

Davis, P.O. et Santa Maria, D.L. (1975). Energy cost of wearing firefighting clothing and equipment, *International Fire Chief*, vol. 41, p. 10-11.

Duncan, H.W., Gardner, G.W. et Barnard, R.J. (1979). Physiological responses of men working in fire fighting equipment in the heat, *Ergonomics*, vol. 22, n° 5, p. 521-527.

Faff, J. et Tutak, T. (1989). Physiological responses to working with fire fighting equipment in the heat in relation to subjective fatigue, *Ergonomics*, vol. 32, n° 6, p. 629-638.

Fink, W., Costill, D.L., Van Handel, P. et Getchell, L. (1975). Leg muscle metabolism during exercise in the heat and cold. *European Journal of Applied Physiology*, **34**, p. 183-190.

Ftaiti, F., Duplot, J.-C., Nicol, C. et Grelot, L. 2001, Tympanic temperature and heart rate changes in firefighters during treadmills runs performed with different fireproof jackets. *Ergonomics*, 44, p. 502-512.

Gaesser, G.A. et Poole, D.C. (1996). The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exercise and Sports Sciences Reviews*, **24**, p. 35-70.

Gavhed, D.C.E. et Holmer, I., (1989). Thermoregulatory responses of firemen to exercise in the heat, *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 59, p. 115-122.

Gledhill, N. et Jamnik, V. K. 1992 Characterization of the physical demands of fire-fighting, *Canadian Journal of Sports Science*, 17, p. 207-213.

Gordon, G.S. et Roger, R.I. (1969). Project monoxide, International Association of Fire Fighters, Washington. DC.

- Griefahn, B., Künemund, C. et Bröde, P. (2003). Evaluation of performance and load in simulated rescue tasks for a novel design SCBA : effect of weight, volume and weight distribution. *Applied Ergonomics*, **34**, p. 157-165.
- Heil, D.P. (2002). Estimating energy expenditure in wildland firefighters using a physical activity monitor. *Applied Ergonomics*, **33**, p. 405-413.
- Hintze, J.L., (2001). *Number Cruncher Statistical Systems*. NCSS inc., Kaysville (UT). 160 p.
- Laursen, B., Ekner, D., Simonsen, E.B., Voigt, M. et Sjogaard, G. (2000). Kinetics and energetics during uphill and downhill carrying of different weights. *Applied Ergonomics*, **31**, p. 159-166.
- Lemon, P.W.R. et Hermiston, R.T. (1977). Physiological profile of professional fire fighters. *Journal of Occupational Medicine*, **19**, p. 337-340.
- Lemon, P.W.R. et Hermiston, R.T. (1977). The human energy cost of fire fighting. *Journal of Occupational Medicine*, **19**, p. 558-562.
- Louhevaara, V. et Lusa, S. (1992) Guidelines on the follow-up of the fire-fighter's work ability. *Aging and Work* **28**, p. 134-141.
- Louhevaara, V., Smolander, J., Korhonen, O. et Tuomi, T. (1986). Maximal working times with a self-contained breathing apparatus, *Ergonomics*, vol. **29**, p. 77-85.
- Louhevaara, V., Smolander, J., Tuomi, T., Korhonen, O. et Jaakkola, J. (1985). Effects of an SCBA on breathing pattern, gas exchange and heart rate during exercise, *Journal of Occupational Medicine*, vol. **27**, p. 213-216.
- Louhevaara, V., Tuomi, T., Korhonen, O. et Jaakkola, J. (1984). Cardiorespiratory effects of respiratory protective devices during exercise in well-trained men, *European Journal of Applied Physiology and Occupational physiology*, vol. **52**, p. 340-345.
- Manning, J.E. et Griggs, T.R. (1983). Heart rates in fire fighters using light and heavy breathing equipment : Similar near-maximal exertion in response to multiple work load conditions, *Journal of Occupational Medicine*, vol. **25**, n° **3**, p. 215-218.
- Maritz, J.S., Morrison, J.F., Peter, J., Strydom, N.B. et Wyndham, C.H. (1961). A practical method of estimating an individual's maximal oxygen intake. *Ergonomics*, **4**, p. 97-122.
- Maud, P.J. et Foster, C. (1995). *Physiological assessment of human fitness*. Human Kinetics. USA. 296 p.
- McArdle, W., Katch, F. et Katch, V. (2001). *Physiologie de l'activité physique : énergie, nutrition et performance*. Maloine/Edisem. 4<sup>e</sup> éd. Paris. 711 p.



- Monod, H. et Kapitaniak, B. (1999). Ergonomie, Masson, Paris. 282 p.
- Myrhe, L.G., Teer, M. et Miszko, T. (1998). The International Fire Fighter Protective Clothing Breathability Research Project : *warm environment protocol*. National Fire Protection Research Foundation. Quincy. 216 p.
- O'Connell, E.R., Thomas, P.C., Cady, L.D. et Karwasky, R.J. (1986). Energy cost of simulated stair climbing as a job-related task in fire fighting, *Journal of Occupational Medicine*, vol. 28, n° 4, p. 282-284.
- Piehl, K. (1974). Glycogene storage and depletion in human skeletal muscle fibers. *Acta. Physiol. Scand.* (suppl.), 402 : 1
- Rodhal, K. (1989). The physiology of work. Taylor et Francis. London, Angleterre, 290 p.
- Romet, T.T. et Frim, J. (1987). Physiological responses to fire fighting activities, *European Journal of Applied Physiology*, 56, p. 633-638.
- Scherrer, J., (1981). Précis de physiologie du travail notions d'ergonomie. Masson, Paris. 585 p.
- Scott, G. E., Barham, P., Ellam, L., Fordham, M., Garlick, J., Goldsmith, R. et Pateman, C. (1989). Physical fitness of fireman. Joint Committee on Fire research, report n° 33 (London : Home Office Scientific Research and Development Branch).
- Sköldström, B. (1987). Physiological responses of fire fighters to workload and thermal stress. *Ergonomics*, 30, p. 1589-1597.
- Smith D. L. et Petruzzello, S. J. 1998, Selected physiological responses to live-fire drills indifferent configurations of firefighting gear, *Ergonomics*, 41, p. 1141-1154.
- Smith D. L., Manning, T. S. et Petruzzello, S. J. 2001, Effect of strenuous live-fire drills on cardiovascular and psychological responses of recruit firefighters, *Ergonomics*, 44, p. 244-254.
- Smith D. L., Petruzzello, S. J., Kramer, J. M. et Misner, J. E. 1997, The effects of different thermal environments on the physiological and psychological responses of firefighters to a training drill. *Ergonomics*, 40, p. 500-510.
- Sothmann, M., Saupe, K., Jasenof, D. et Blaney, J. 1992, Heart rate response of firefighters to actual emergencies, *Journal of Occupational Medicine*, 34, p. 797-800.
- Tack, D.W., Webb, R.D.G. et Walsh, C. (1984). Age and physiological responses to heat and activity when wearing firefighters turnout gear, *Proceedings of the 1984 International Conference on Occupational Ergonomics*.

Tattersall, A.J. et Thomas, N.T. (1985). Flames and sweat : A physiological assessment of fire fighting apparel, Contemporary Ergonomics, Proceedings of the Ergonomics Society's : Annual conference, 27-29 mars 1985.

Washburn, A.E., Leblanc, P.R. et Fayey, R.F. (1998). Fire fighter fatalities, national Fire protection association Journal, juillet/août, p. 50-62.

White, M.K., Vercruyssen, M. et Hodous, T.K. (1989). Work tolerance and subjective responses to wearing protective clothing and respirators during physical work, Ergonomics, vol. 32, n° 9, p. 1111-1123.

Wiliford, H.N., Duey, W. J., Olson, M. S., Howard, R. et Wang, N. 1999, Relationship between fire fighting suppression tasks and physical fitness. Ergonomics, 42, p. 1179-1186.

Wilmore, J.H. et Costill, D.L. (2002), Physiologie du sport et de l'exercice. 2<sup>e</sup> édition. DeBoeck Université, Paris, 736 pages.

## ANNEXE A

### Formulaire de consentement

#### Université du Québec à Montréal

J'accepte d'apporter volontairement ma collaboration au projet de recherche intitulé « Évaluation des contraintes physiques associées au port de différents vêtements individuels de protection des pompiers » mené sous la direction de Denis Marchand, professeur à l'Université du Québec à Montréal et Chantal Tellier, professionnelle scientifique à l'IRSST. Je suis au courant de la nature de cette recherche dont le but poursuivi est de documenter les avantages et les désavantages qu'entraîne le port de certains modèles de VIP et de les transmettre aux principaux corps de pompier de la province.

Ma participation à titre de sujet impliquera :

- D'avoir lu le formulaire d'information pour le consentement des sujets;
- D'être en bonne santé;
- De faire plusieurs tests sur un tapis roulant et sur un ergocycle manuel en laboratoire;
- De faire plusieurs tests de marche en température ambiante chaude;
- D'être mesuré avec un analyseur métabolique, une montre cardiaque, des capteurs cutanés et l'électromyographie de surface;
- De réaliser un test de prédiction sous-maximal de la capacité aérobie maximale;
- De fournir contractions isométriques maximales pour chacun des muscles sélectionnés;
- D'être filmé lors des tests en laboratoire;
- De donner ma perception de l'effort lors des tests psychophysiques.

Les tests se feront avec deux sujets par jour (un à la suite de l'autre) et je devrais consacrer 12 demi-journées au total. Je vais réaliser les tests suivants : le premier jour, des tests d'appréciations subjectives de confort et du sentiment de sécurité ainsi que le prétest visant à évaluer ma consommation maximale d'oxygène; le deuxième et troisième jour, des tests sur le tapis roulant; le quatrième et cinquième jour, des tests de marche en température ambiante élevée et le sixième jour des tests sur le pédalier d'exercice manuel (cyclo-ergomètre). Cette séquence de tests sera reprise après 10 lavages consécutifs des 4 VIP utilisés pour l'étude.

Conséquemment, toutes les précautions sont prises pour minimiser au maximum les inconvénients et les risques pour ma personne (douleur, fatigue, blessure, etc.). J'accepte de participer à cette recherche étant cependant entendu que je pourrai me retirer, en tout temps, sans

préjudice et pour des motifs dont je serai le seul juge. Il est aussi possible que l'expérimentateur mette fin au test s'il le juge dangereux pour ma santé.

Il est convenu que les renseignements contenus dans mon dossier de recherche pourront être utilisés par les responsables aux seules fins énoncées dans la présente recherche et à la condition que les éléments qui pourraient être de nature confidentielle ne soient pas divulgués dans le public ou à l'entreprise d'une façon telle que l'on puisse m'identifier.

Toute demande d'information ou plainte peut-être adressée au Comité institutionnel d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'UQAM, Secrétariat : service de la recherche et de la création, case postale 8888, Centre-ville, Montréal (Québec), Canada, H3C 3P8, téléphone : 987-3000, poste 7753).

Signé à Montréal en duplicata, ce \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(responsable)

\_\_\_\_\_  
(participant)

Denis Marchand  
Professeur  
Université du Québec à Montréal  
Département de Kinanthropologie  
Case postale 8888, succ. Centre-Ville  
Montréal (Québec), H3C 3P8  
(514) 987-3000, poste 0217

## **ANNEXE B**

### **Questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique Q-AAP**

## Questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique Q-AAP

L'exercice physique pratiqué d'une façon régulière constitue une occupation de loisir saine et agréable. D'ailleurs, de plus en plus de gens pratiquent une activité physique de façon régulière. Règle générale, augmenter la pratique d'activité physique n'entraîne pas de risque de santé majeur. Dans certains cas, il est cependant conseillé de passer un examen médical avant d'entreprendre un programme régulier d'activités physiques. **Le Q-AAP vise à mieux cerner les personnes pour qui un examen médical est recommandé.**

Si vous prévoyez modifier vos habitudes de vie pour devenir un peu plus actif(ve), commencez par répondre aux 7 questions qui suivent. Si vous êtes âgé(e) de 15 à 69 ans, le Q-AAP vous indiquera si vous devez ou non consulter un médecin avant d'entreprendre votre nouveau programme d'activité physique. Si vous avez plus de 69 ans et ne participez pas d'une façon régulière à des activités physiques exigeantes, vous devriez consulter votre médecin avant d'entreprendre ces activités.

**Lisez attentivement et répondez honnêtement à chacune des questions suivantes.** Le simple bon sens sera votre meilleur guide pour répondre correctement à ces questions. Cochez OUI ou NON.

1. Votre médecin vous a-t-il déjà dit que vous souffriez d'un problème cardiaque <u>et</u> que vous ne devriez participer qu'aux activités physiques prescrites et approuvées par un médecin?	OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/>
2. Ressentez-vous une douleur à la poitrine lors de périodes autres que celles où vous participez à une activité physique?	OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/>
3. Au cours du dernier mois, avez-vous ressenti des douleurs à la poitrine lors de périodes autres que celles où vous participez à une activité physique?	OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/>
4. Éprouvez-vous des problèmes d'équilibre reliés à un étourdissement ou vous arrive-t-il de perdre connaissance?	OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/>
5. Avez-vous des problèmes osseux ou articulaire (par exemple, au dos, aux genoux ou aux hanches) qui pourraient s'aggraver par une modification de votre niveau de participation à une activité physique?	OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/>
6. Des médicaments vous sont-ils actuellement prescrits pour contrôler votre tension artérielle ou un problème cardiaque (par exemple, des diurétiques)?	OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/>
7. Connaissez-vous <u>une autre raison</u> pour laquelle vous ne devriez pas faire d'activité physique?	OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/>

**Si vous avez répondu OUI à une ou à plusieurs questions :**

Consultez votre médecin par téléphone ou en personne AVANT d'augmenter votre niveau de participation à une activité physique et AVANT de faire évaluer votre condition physique. Parlez à votre médecin du questionnaire d'aptitude à l'activité physique que vous avez remplis et expliquez lui précisément à quelles questions vous avez répondu « oui ».

- Il se peut que vous n'avez aucune contre-indication à l'activité physique dans la mesure où vous commencez tranquillement et que vous augmentez graduellement. Il se peut également que vous ayez à privilégier les activités physiques qui sont sécuritaire pour vous. Parlez avec votre médecin du type d'activité physique que vous désirez entreprendre et suivez ses recommandations.

**Si vous avez répondu NON à toutes les questions :**

Si vous avez répondu honnêtement NON à toutes les questions du Q-AAP, vous pouvez :

- Commencer à être plus actif en commençant tranquillement et en augmentant graduellement votre pratique d'activité physique. Il s'agit de la façon de faire la plus efficace et la plus sécuritaire.
- Participer à une évaluation de votre condition physique. Il s'agit là d'un excellent moyen de connaître votre niveau de condition physique. Vous pourrez ainsi choisir la façon de devenir actif(ve) qui vous convient le mieux.

**Retardez l'augmentation de votre pratique d'activité physique :**

- Si vous souffrez d'une affection temporaire bénigne comme un rhume ou de la fièvre. Attendez jusqu'à ce que vous vous sentiez mieux; ou
- Si vous enceinte ou si vous croyez que vous l'êtes, consultez votre médecin avant d'augmenter votre pratique d'activité physique.

*Note : Si votre état de santé change, de sorte que vous deviez répondre « OUI » à l'une ou l'autre des questions du Q-AAP, parlez-en à votre médecin ou à votre kinésologue.*

## **ANNEXE C**

### **Tests d'appréciations subjectives du confort**



VIP : \_\_\_\_\_

Sujet : \_\_\_\_\_

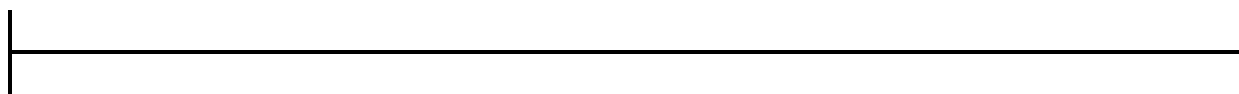
**À l'aide d'un trait perpendiculaire à la droite. Donnez votre évaluation aux différentes tâches suivantes en fonction de l'échelle.**

### L'HABILLEMENT

Mettre son vêtement individuel de protection

**Extrêmement  
difficile**

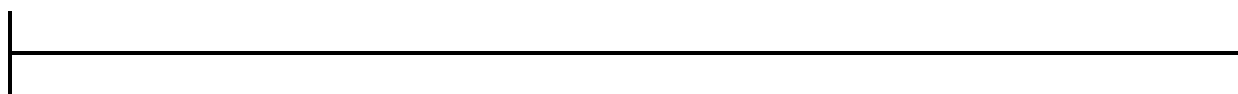
**Extrêmement  
facile**



Enlever son vêtement individuel de protection

**Extrêmement  
difficile**

**Extrêmement  
facile**



Sujet : \_\_\_\_\_

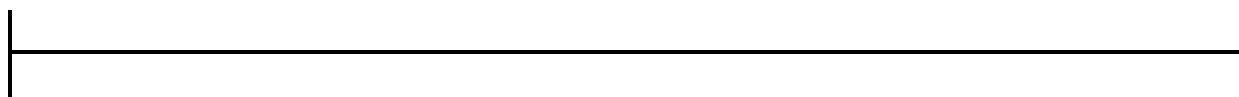
VIP : \_\_\_\_\_

## LA MOBILITÉ

Se déplacer en marchant

**Extrêmement  
inconfortable**

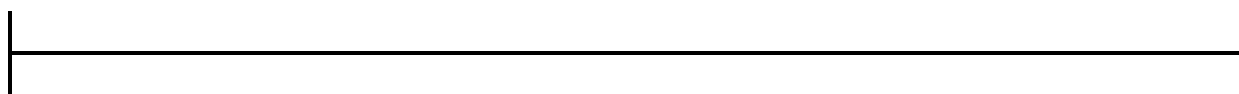
**Extrêmement  
confortable**



Se déplacer à 4 pattes

**Extrêmement  
inconfortable**

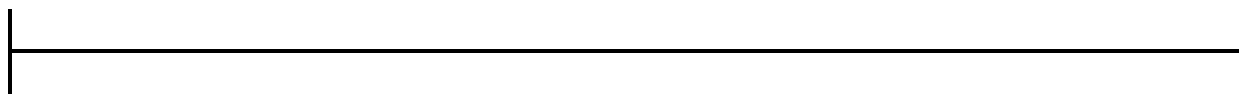
**Extrêmement  
confortable**



Se déplacer à genoux

**Extrêmement  
inconfortable**

**Extrêmement  
confortable**



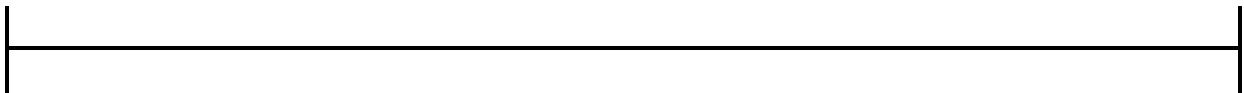
Sujet : \_\_\_\_\_

VIP : \_\_\_\_\_

### Se déplacer rapidement

**Extrêmement  
inconfortable**

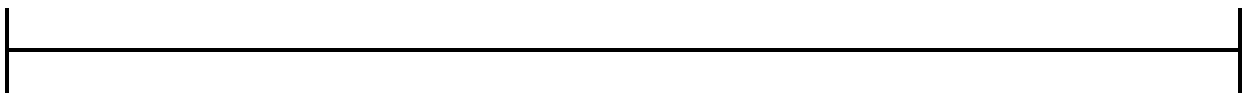
**Extrêmement  
confortable**



### Passer par-dessus un obstacle (ex. table, lit etc.)

**Extrêmement  
difficile**

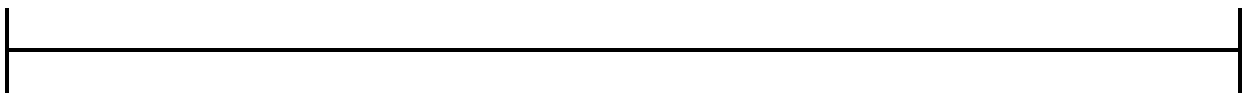
**Extrêmement  
facile**



### Passer sous un obstacle (ex. : table, etc.)

**Extrêmement  
difficile**

**Extrêmement  
facile**



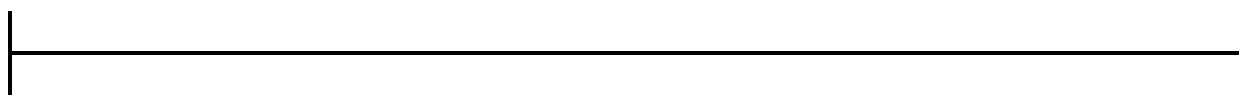
Sujet : \_\_\_\_\_

VIP : \_\_\_\_\_

### S'accroupir (Squat)

**Extrêmement  
difficile**

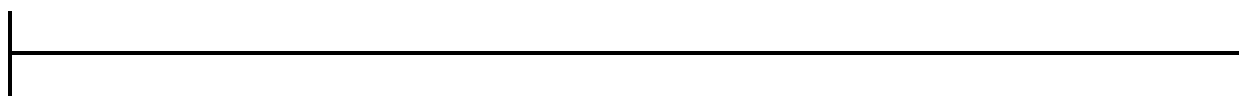
**Extrêmement  
facile**



### Se pencher (jambes tendues, dos fléchi)

**Extrêmement  
difficile**

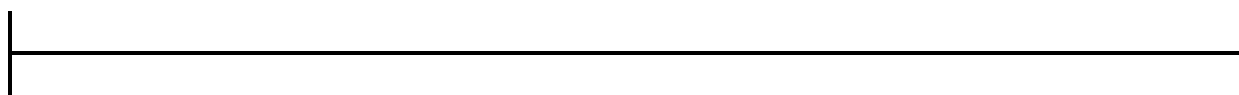
**Extrêmement  
facile**



### Faire une torsion du tronc avec un genou au sol

**Extrêmement  
difficile**

**Extrêmement  
facile**



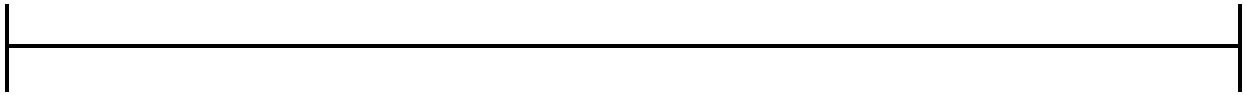
Sujet : \_\_\_\_\_

VIP : \_\_\_\_\_

### Monter une échelle

**Extrêmement  
difficile**

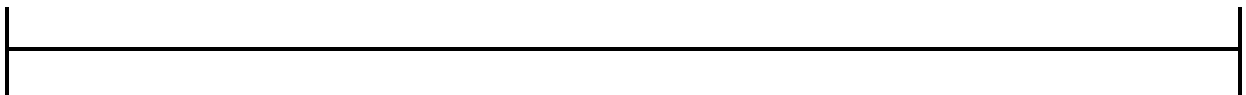
**Extrêmement  
facile**



### Monter un escalier

**Extrêmement  
difficile**

**Extrêmement  
facile**



Sujet : \_\_\_\_\_

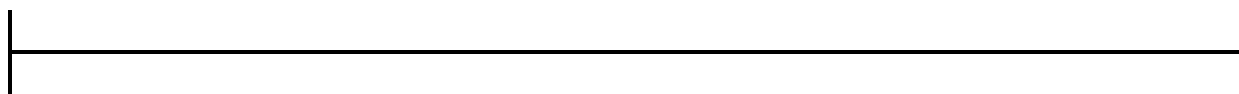
VIP : \_\_\_\_\_

## LE TRAVAIL

Utiliser la hache sur le sol

**Extrêmement  
difficile**

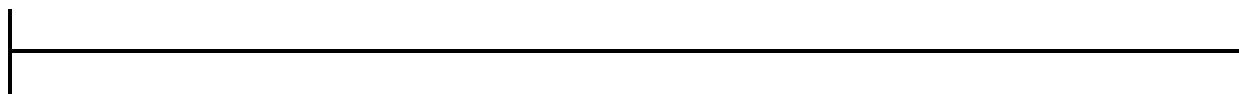
**Extrêmement  
facile**



Manipuler une personne (mannequin)

**Extrêmement  
difficile**

**Extrêmement  
facile**



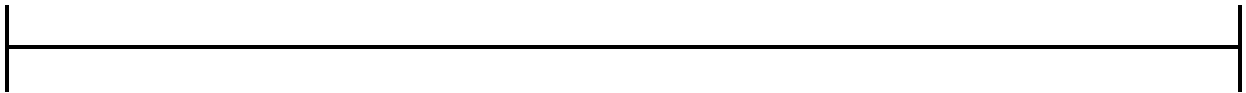
Sujet : \_\_\_\_\_

VIP : \_\_\_\_\_

Utiliser des outils en position à genoux (ex. : hache, découpeuse, etc.)

**Extrêmement  
difficile**

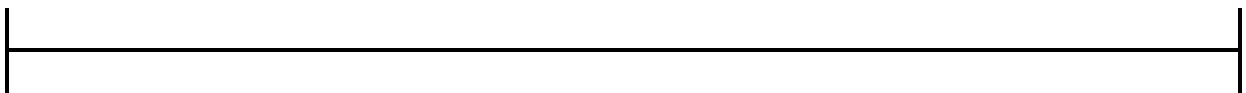
**Extrêmement  
facile**



Rouler et dérouler les boyaux


**Extrêmement  
difficile**

**Extrêmement  
facile**



## ANNEXE D

**Tableau des équivalences énergétiques en fonction de la pente et de la vitesse (Tiré de ACSM, 2000.)**

 <b>TABLE D-3. Approximate Energy Requirements in METs for Horizontal and Grade Walking</b>							
% Grade	mi·h <sup>-1</sup>	1.7	2.0	2.5	3.0	3.4	3.75
	m·min <sup>-1</sup>	45.6	53.6	67.0	80.4	91.2	100.5
0		2.3	2.5	2.9	3.3	3.6	3.9
2.5		2.9	3.2	3.8	4.3	4.8	5.2
5.0		3.5	3.9	4.6	5.4	5.9	6.5
7.5		4.1	4.6	5.5	6.4	7.1	7.8
10.0		4.6	5.3	6.3	7.4	8.3	9.1
12.5		5.2	6.0	7.2	8.5	9.5	10.4
15.0		5.8	6.6	8.1	9.5	10.6	11.7
17.5		6.4	7.3	8.9	10.5	11.8	12.9
20.0		7.0	8.0	9.8	11.6	13.0	14.2
22.5		7.6	8.7	10.6	12.6	14.2	15.5
25.0		8.2	9.4	11.5	13.6	15.3	16.8



## ANNEXE E

### Échelle de Borg 6-20

6	Repos, aucun effort
7	Très, très faible
8	
9	Très faible
10	
11	Modéré
12	
13	Un peu difficile
14	
15	Difficile
16	
17	Très difficile
18	
19	Très, très difficile
20	

## ANNEXE F

### Tableau de la charge de travail (Tiré Monod et Kapitaniak, 2003.)

**Tableau 7.II. Évaluation de la charge de travail à partir de la fréquence cardiaque. Les valeurs de coût cardiaque indiquées en b/min sont fondées sur une fréquence de repos de 80 b/min**

Classification de l'astreinte cardiaque						
Classe	Continu 8 h			Occasionnel (< 30 min)		
	FC	CC	CCr	FC	CC	CCr
Repos	80	0	0	80	0	0
Faible	100	20	20%	110	30	30%
Modéré	115	35	30%	130	50	50%
Élevé	130	50	45%	150	70	65%
Très élevé	150	70	60%	170	90	75%

La grille de pénibilité de Chamoux propose une autre classification, avec des limites de classes et une terminologie également différentes. Pour Chamoux, la valeur de repos est calculée à partir du 5<sup>e</sup> centile des valeurs enregistrées sur 12 heures.