

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

CONTRAINTES PHYSIOLOGIQUES ASSOCIÉES AU PORT D'UN
APPAREIL DE PROTECTION RESPIRATOIRE DE TYPE P100
SELON L'INTENSITÉ PHYSIQUE ET LA TEMPÉRATURE
AMBIANTE

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAITRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR
SAMUEL CHARBONNEAU

DÉCEMBRE 2018

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.10-2015). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Avant tout, je tiens à remercier mon directeur de maîtrise, Dr Denis Marchand, pour l'encadrement tout au long de ma maîtrise et les précieux conseils. Merci de m'avoir transmis ta passion pour l'ergonomie.

Merci à mon collègue Igor Zovile pour son aide lors des prises de mesures et son support dans tous mes projets.

Merci à Carole Roy pour sa grande patience et ses connaissances techniques des instruments de mesure.

Merci à Benoit Sansregret pour son aide technique en audio-visuel et pour le café.

Merci à Antoine Parrinello pour son aide en programmation, sans toi, le traitement des données aurait été beaucoup plus pénible.

Merci à l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), plus spécifiquement à Chantal Gauvin et à Ludovic Tuduri, pour leur collaboration et la concrétisation de ce projet.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	II
LISTE DES FIGURES.....	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	VIII
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	X
LISTE DES UNITÉS	XI
RÉSUMÉ	XII
CHAPITRE I INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE II PROBLÉMATIQUE.....	3
CHAPITRE III REVUE DE LA LITTÉRATURE	6
CHAPITRE IV MÉTHODOLOGIE.....	13
4.1 SUJETS	13
4.2 ESSAIS D'AJUSTEMENT ET D'ÉTANCHÉITÉ DES APR.....	15
4.3 CONDITIONS EXPÉRIMENTALES (VARIABLES INDÉPENDANTES).....	17
4.4 MESURES (VARIABLES DÉPENDANTES).....	18
4.4.1 <i>Mesures des contraintes physiologiques</i>	18
4.4.2 <i>Tests perceptivo-moteurs</i>	22
4.4.3 <i>Tests psychophysiques</i>	24
4.5 PROCÉDURES.....	25
4.5.1 <i>Test de prédiction du VO₂ max et du coût cardiaque relatif associé à l'effort</i>	26
4.5.2 <i>Contrôle des variables de la chambre climatique</i>	28
4.6 LIMITES.....	28

4.7	ANALYSES STATISTIQUES.....	29
CHAPITRE V RÉSULTATS.....		32
5.1	EFFETS DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE ET DU PORT D'UN APR SUR LES FRÉQUENCES CARDIAQUES (FC).....	32
5.2	EFFETS DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE ET DU PORT D'UN APR SUR LES FRÉQUENCES RESPIRATOIRES (FR).....	34
5.3	EFFETS DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE ET DU PORT D'UN APR SUR LA PERCEPTION PSYCHOPHYSIQUE	36
5.4	EFFETS DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE ET DU PORT D'UN APR SUR LA TEMPÉRATURE DE L'AIR À L'INTÉRIEUR DE L'APR	39
5.5	EFFETS DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE ET DU PORT D'UN APR SUR LA TEMPÉRATURE INTERNE	40
5.6	EFFETS DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE ET DU PORT D'UN APR SUR LA CONCENTRATION O ₂ À L'INTÉRIEUR DE L'APR.....	42
5.7	EFFETS DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE ET DU PORT D'UN APR SUR L'OXYMÉTRIE CÉRÉBRALE (RSO ₂) RELATIVE	43
5.8	EFFETS DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE ET DU PORT D'UN APR SUR LA CONCENTRATION EN CO ₂ À L'INTÉRIEUR DE L'APR	44
5.9	EFFETS DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE ET DU PORT D'UN APR SUR LA PRESSION TÉLÉ-EXPIRATOIRE (ETCO ₂)	45
5.10	EFFETS DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE ET DU PORT D'UN APR SUR LE TEMPS DE RÉACTION (TÂCHE DE HICK)	46
5.11	EFFETS DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE ET DU PORT D'UN APR SUR LE TEMPS DE MOUVEMENT (TÂCHE DE FITTS)	48
CHAPITRE VI DISCUSSION		49
6.1	EFFETS DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE ET DU PORT D'UN APR SUR LES FRÉQUENCES CARDIAQUES, FRÉQUENCES RESPIRATOIRES ET LA PERCEPTION DE L'EFFORT.....	49
6.2	EFFETS DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE ET DU PORT D'UN APR SUR LA TEMPÉRATURE DE L'AIR INSPIRÉ ET LA TEMPÉRATURE INTERNE	51
6.3	EFFETS DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE ET DU PORT D'UN APR SUR LA CONCENTRATION EN O ₂ À L'INTÉRIEUR DE L'APR ET LA RSO ₂ RELATIVE.....	52

6.4	EFFETS DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE ET DU PORT D'UN APR SUR LA CONCENTRATION DE CO ₂ À L'INTÉRIEUR DE L'APR ET LA PRESSION TÉLÉ- EXPIRATOIRE.....	53
6.5	EFFETS DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE ET DU PORT D'UN APR SUR LES TÂCHES PERCEPTIVO-MOTRICES	55
	CHAPITRE VII CONCLUSION.....	56
	ANNEXE A FORMULAIRE DE CONSENTEMENT.....	58
	ANNEXE B QAAP	64
	ANNEXE C PROCÉDURE DE TEST	65
	ANNEXE D RÉSULTATS DES ANALYSES STATISTIQUES	69
	ANNEXE E CERTIFICAT D'ÉTHIQUE	70
	ANNEXE F ÉVALUATION PSYCHOPHYSIQUE DE L'EFFORT	71
	BIBLIOGRAPHIE.....	72

LISTE DES FIGURES

Figure 4.1 Photographie de l'appareil de protection respiratoire (3M série 6000 avec filtre P100 modèle 2091) utilisé pour l'étude	15
Figure 4.2 Représentation d'une droite de régression linéaire utilisée pour prédire la fréquence cardiaque du sujet 3 lors du test de marche sur tapis roulant à 35°C avec le port d'un APR.....	30
Figure 4.3 Représentation d'une courbe de régression polynomiale utilisée pour prédire l'oxymétrie cérébrale du sujet 2 lors du test de marche sur tapis roulant à 29°C avec le port d'un APR.....	30
Figure 5.1 Les fréquences cardiaques pour les différentes conditions de port d'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C (*p<0.05).	33
Figure 5.2 Les fréquences respiratoires pour les différentes conditions de port d'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C (*p<0.05).	35
Figure 5.3 La cote de perception de l'effort pour les différentes conditions de port d'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C (*p<0.05).	37
Figure 5.4 La cote de perception de l'effort moyenne pour les différentes conditions de température ambiante et de port d'APR (*p<0.05).	38
Figure 5.5 La température moyenne de l'air inspiré pour les différentes conditions de température ambiante et de port d'APR (*p<0.05).....	39
Figure 5.6 La température interne pour les différentes conditions de port d'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C (*p<0.05).	41
Figure 5.7 Les concentrations moyennes en O ₂ à l'intérieur de l'APR et dans l'air ambiant selon les conditions de température ambiante et de port d'APR (*p<0.05).....	42
Figure 5.8 L'oxymétrie cérébrale relative pour les différentes conditions de port d'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C (*p<0.05).	43
Figure 5.9 Les concentrations moyennes en CO ₂ à l'intérieur de l'APR et dans l'air ambiant selon les conditions de température ambiante et de port d'APR (*p<0.05).....	45

Figure 5.10 La pression télé-expiratoire en CO ₂ moyenne pour les différentes conditions de température ambiante et de port d'APR (*p<0.05).	46
Figure 5.11 Temps de réaction moyen pour les différentes conditions de port d'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C (*p<0.05).	47
Figure 5.12 Le temps de mouvement moyen pour les différentes conditions du port d'APR réalisée avant (pré) et après (post) l'effort physique (*p<0.05).....	48

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4.1 Caractéristiques des sujets de l'étude.....	15
Tableau 5.1 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour les valeurs de fréquences cardiaques selon l'effet de l'intensité et de l'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C.	33
Tableau 5.2 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour les valeurs de fréquences respiratoires selon l'effet de l'intensité et de l'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C.	35
Tableau 5.3 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour la cote de perception de l'effort selon l'effet de l'intensité et de l'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C.	37
Tableau 5.4 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour la cote de perception de l'effort selon l'effet de la température ambiante et de l'APR.	38
Tableau 0.5 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour les valeurs de température de l'air inspiré selon l'effet de la température ambiante de l'APR.	40
Tableau 5.6 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour les valeurs de température interne selon l'effet de l'intensité et de l'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C.	41
Tableau 5.7 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour les valeurs de concentrations en O ₂ selon l'effet de la température ambiante et de l'APR.	42
Tableau 5.8 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour les valeurs d'oxymétrie cérébrale relative selon l'effet de l'intensité et de l'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C.	44
Tableau 5.9 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour les valeurs de concentrations en CO ₂ selon l'effet de la température ambiante et de l'APR.	45

Tableau 5.10 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour les valeurs de pression télé-expiratoire en CO ₂ selon l'effet de la température ambiante et de l'APR.	46
Tableau 5.11 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour les valeurs de temps de réaction selon l'effet de l'intensité et de l'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C.	47
Tableau 5.12 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour les valeurs de temps de mouvement selon l'effet de l'intensité et de l'APR.	48

LISTE DES ABRÉVIATIONS

APR	Appareil de protection respiratoire
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
NIOSH	National Institute of Safety and Health
ACSM	American College of Sports Medicine
CSST	Commission de la santé et de la sécurité du travail
BTP	Bâtiment et Travaux Publics
SPIR	Spectroscopie dans le proche infrarouge
UQAM	Université du Québec à Montréal
QAAP	Questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique
FPC	Facteurs de protection caractéristique
FA	Facteur d'ajustement
CCR	Coût cardiaque relatif
rSO ₂	Saturation de l'hémoglobine cérébrale en oxygène
HbO ₂	Hémoglobine oxygénée
EtCO ₂	Pression télé-expiratoire en CO ₂
FC	Fréquence cardiaque
FR	Fréquence respiratoire
ID	Indice de difficulté
VO ₂	Consommation d'oxygène

LISTE DES UNITÉS

°C	Degré Celsius
\$	Dollar
ml	Millilitre
km/h	Kilomètre par heure
ml/kg/min	Millilitre par kilogramme par minute
cm	Centimètre
kg	Kilogramme
nm	Nanomètre
mm	Millimètre
bpm	Battements par minute
m	Mètre
sec.	Seconde

RÉSUMÉ

La protection respiratoire demeure un enjeu important pour la santé des travailleurs dans le secteur de la construction. Le port d'un appareil de protection respiratoire (APR) est reconnu comme un outil essentiel pour réduire les risques d'exposition par voie respiratoire dans les milieux où le contrôle à la source s'avère insuffisant. Dans certaines situations de travail et de températures ambiantes contraignantes, on remarque que le port d'un APR semble augmenter la pénibilité des tâches. Les travailleurs retirent l'APR, alors qu'ils sont toujours exposés à certains contaminants. Afin d'expliquer le manque de motivation des travailler à porter l'APR, cette étude avait comme objectif de quantifier objectivement les contraintes physiologiques associées au port d'APR de type P100 selon l'importance de l'effort physique et de la température ambiante.

Huit sujets masculins ont réalisé des tests d'effort progressifs (30 % à 80 % du coût cardiaque relatif) sur un tapis roulant dans une chambre à environnement contrôlé. Différentes conditions avec et sans APR et de températures ambiantes (23°, 29° et 35 °C dans un environnement où l'humidité relative est constante à 50 %) ont été évaluées lors des tests afin de mesurer l'importance des contraintes physiologiques associées au port de l'APR selon l'effort demandé et la température ambiante. Lors des évaluations, des tâches perceptivo-motrices ont été réalisées avant, pendant et après les tests sur le tapis roulant. Plusieurs variables physiologiques ont été mesurées : la capacité cardio-respiratoire maximale les concentrations d'oxygène et de dioxyde d'oxygène à l'intérieur de l'APR, la saturation en oxygène cérébrale, la température interne, la température à de l'air inspiré, ainsi que les fréquences cardiaque et respiratoire. Des échelles de perception psychophysique (Borg) ont été utilisées pour évaluer la perception de l'effort.

L'interaction entre le port d'un APR et la température ambiante augmente la perception de l'effort lorsqu'un effort physique est réalisé. Les résultats ont démontré que la fréquence respiratoire est affectée par le port d'un APR. Comme les concentrations en O₂ et en CO₂ à l'intérieur de l'APR sont respectivement inférieures et supérieures aux concentrations que l'on retrouve dans l'air ambiant, une augmentation de la fréquence respiratoire permettrait d'augmenter la ventilation afin de renouveler l'air à l'intérieur de l'APR. Les valeurs obtenues lors de cette étude ne respectent pas les recommandations de l'OSHA (Occupational Safety and Health Administration) envers les concentrations en O₂ et en CO₂ dans l'air ambiant pour un environnement de travail (OSHA, 2004). Par contre, le temps de réaction et le compromis vitesse-précision ne semblent pas avoir été affectés par le port d'un APR.

MOTS-CLÉS : appareil de protection respiratoire, filtre de type P100, contraintes physiologiques.

CHAPITRE I

INTRODUCTION

Dans le secteur de la construction, l'exposition professionnelle à divers contaminants tels que l'amiante, la silice cristalline et les moisissures, est fréquente dans plusieurs métiers. Le port d'un appareil de protection respiratoire (APR) est reconnu comme un outil essentiel pour réduire les risques d'exposition par voie respiratoire dans les milieux où le contrôle à la source s'avère insuffisant. Une des raisons les plus fréquemment citées pour l'intolérance et l'inutilisation des APR de type filtrant serait l'inconfort lié à l'accumulation de chaleur au niveau du visage (Radonovich et al., 2009; Baig et al., 2010). Selon Roberge et al. (2010), d'autres facteurs, tels que l'augmentation de la température de l'air respirable et de la concentration de dioxyde de carbone (CO₂) à l'intérieur de l'APR, ou des contraintes physiologiques, tels que la fréquence cardiaque et la saturation en oxygène peuvent aussi expliquer le manque de motivation à porter ce type de protection respiratoire. Le type d'APR sélectionné pour l'étude est celui suggéré par l'association paritaire pour la santé et la sécurité du travail du secteur de la construction (ASP construction), soit un demi-masque à filtre P100 réutilisable. Le modèle choisi est celui le plus fréquemment utilisé par les travailleurs du milieu de la construction (3M série 6000 avec filtre particules 2091).

L'objectif de ce projet de recherche consiste à mesurer l'impact du port d'un APR à épuration d'air sur les différentes variables physiologiques selon l'importance de l'effort physique et de la température ambiante. Les résultats obtenus pourraient permettre d'émettre des recommandations lorsque les P100 sont utilisés dans des conditions ambiantes contraignantes et d'effort physique important. Le projet de recherche propose un protocole expérimental qui permettrait éventuellement d'étudier

les contraintes associées à différents modèles d'APR disponibles sur le marché avec une approche physiologique.

CHAPITRE II

PROBLÉMATIQUE

Au Québec, 1999 lésions dont la nature est une maladie de l'appareil respiratoire ont été acceptées par la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST, 2016) sur la période 2011-2015. L'activité économique est connue pour 1044 de ces lésions. Les trois premiers secteurs d'activités concernés étaient la fabrication (303 lésions), les soins de santé et l'assistance sociale (227 cas) et la construction (137 cas). En termes de débours totaux, le secteur de la fabrication restait le premier (14,6M \$), suivi de la construction (8,1M \$) et de la santé-assistance sociale (2,4M \$). Dans le domaine de la fabrication et de la construction, les agents causaux les plus fréquemment rapportés sont l'amiante (132 cas) et la silice (52 cas), deux contaminants particuliers responsables de pathologies telles que le cancer du poumon, l'amiantose et la silicose (NIOSH, 2001, NIOSH 2011). Au Québec, entre 40 et 98 cas de silicose ont été déclarés annuellement entre 2006 et 2010 à l'échelle de la province, tous secteurs confondus (MSSS, 2011).

Le milieu de la construction semble cependant focaliser l'attention générale concernant la silice; 19 décès indemnisés liés à l'exposition à la silice dans le secteur du Bâtiment et Travaux Publics (BTP) ont été recensés entre 1995 et 2009 par la CSST (CSST, 2010). D'un côté, on estime à 46 000 le nombre de travailleurs québécois exposés à la silice cristalline dans le secteur de la construction (Peters et al. 2010). De l'autre, des études ont révélé des niveaux d'exposition dans le secteur de la construction qui dépassent encore fréquemment les valeurs limites réglementaires (Flanagan et al., 2006; Rappaport et al., 2003; Forest et Tremblay, 2007; Tjoe et al., 2003). Dans son plan d'action Construction de 2008, la CSST est passée à la « tolérance zéro » vis-à-vis de la silice. Elle a poursuivi cet effort dans son plan d'action 2012, en visant

spécifiquement les entreprises qui transforment du granit, du marbre ou des matériaux composites contenant de la silice cristalline. Les domaines d'activités à suivre seraient les carrières, les mines et les fonderies (Sabourin 2012). Dans son plan d'action de 2015, la CSST maintient la « tolérance zéro » pour les dangers à la santé associés aux « poussières d'amiante et de silice cristalline » dans le secteur de la construction (CSST, 2015).

Les métiers les plus à risque d'exposition à la silice cristalline dans la construction sont, entre autres, les travailleurs souterrains, les opérateurs d'équipement lourd aux commandes de tunneliers ou de fraiseuses routières, les cimentiers-applicateurs, les briqueteurs-maçons, les foreurs et les manœuvres spécialisés (Beaudry et al., 2013). Bien que différents moyens de réduction des risques soient parfois mis en place pour certains outils particulièrement exposants (scie portative à maçonnerie, banc de scie à maçonnerie, meuleuse pour joints de briques/pierres, etc.), ils ne permettent pas, dans tous les cas, de réduire les niveaux d'exposition sous les valeurs réglementaires du Québec. Une protection respiratoire doit donc être utilisée (Beaudry et al., 2013; Sauvé et al., 2013).

Peu de données sont disponibles sur l'utilisation des appareils de protection respiratoire (APR) dans le secteur de la construction au Québec. Dans une étude récente, Beaudry et al. (2013) ont établi une banque de données d'exposition professionnelle à la silice dans le secteur de la construction, basée sur diverses sources documentaires de la littérature scientifique internationale. Bien que seulement le tiers des données de cette banque contienne de l'information concernant l'utilisation des APR lors des mesures d'exposition, il ressort de ces données que 70 % des travailleurs portaient un APR, dont près des deux tiers le portaient continuellement durant la période de travail. Dans 59 % des cas, les travailleurs portaient une pièce faciale filtrante. Selon l'expérience de conseillers à l'ASP Construction, des APR réutilisables de type P100 sont de plus en plus portés par les travailleurs grâce à l'insistance des différents organismes pour faire

connaître les dangers liés à l'exposition à la silice. Un document de l'ASP-Construction, présentant une liste non exhaustive des types d'APR pouvant être utilisés selon les contaminants en présence dans le milieu de travail (ASP-Construction, 2013), semble confirmer cette indication. Cependant, l'APR est le plus souvent porté en fonction de la tâche (le travailleur porte son APR le temps que dure le cassage du béton par exemple) plutôt qu'en fonction de l'environnement (le travailleur retire son APR dès que la tâche est terminée, sans égard aux contaminants qui demeurent dans son environnement). De plus, pour d'autres contaminants (poussières, etc.), l'APR est moins souvent porté, notamment dans le secteur de la construction résidentielle. Les travailleurs reprochent notamment aux APR l'accumulation de chaleur au visage (particulièrement l'été), et la restriction respiratoire.

CHAPITRE III

REVUE DE LA LITTÉRATURE

Dans la littérature scientifique, les raisons les plus fréquemment citées pour l'intolérance et l'inutilisation des APR de type filtrant seraient l'inconfort lié à l'accumulation de chaleur et aux pressions mécaniques exercées sur la peau du visage. L'étude qualitative de Locatelli et ses collègues (2014) a permis de faire ressortir les impressions des travailleurs ainsi que les caractéristiques physiques et des effets du port d'un APR. Ils ont recueilli plusieurs témoignages lors d'une entrevue de groupe menée auprès de 17 employés d'un centre hospitalier, associant l'inconfort et l'intolérance aux caractéristiques physiques des APR. D'autres facteurs, tels que l'augmentation de la température de l'air respirable, la température centrale du corps plus élevée, ou des contraintes physiologiques, pourraient aussi expliquer le manque de motivation à porter ce type de protection respiratoire (Roberge, Coca et al. 2010).

Pour les contraintes physiologiques, beaucoup de travailleurs doivent fournir un effort physique important, tout en portant un APR pour se protéger de leur environnement. Ces situations d'efforts, qui impliquent généralement une sollicitation plus grande des fonctions cardio-respiratoires, doivent donc se faire avec la présence d'un micro-environnement à l'intérieur du masque pour assurer les échanges gazeux au niveau des voies respiratoires. En plus d'influencer l'air respirable par le nez et la bouche, le port d'un APR augmente artificiellement l'espace mort des voies respiratoires. Sans masque, l'espace mort anatomique contient seulement le volume d'air situé entre les voies nasales et la jonction entre les bronchioles et les alvéoles. Selon le modèle de masque utilisé, l'espace mort externe des APR varie de 195 ml à 500 ml. Cette augmentation du volume d'air créé par le port d'un APR a pour conséquence que l'air contenu dans cet espace mort n'est pas totalement ventilé à chaque cycle respiratoire

(Louhevaara, 1984). Plus précisément, lors d'un exercice à 60 à 80 % du VO_2 max, l'augmentation de l'espace mort externe causée par le port d'un APR entraîne une augmentation linéaire du volume respiratoire. Cette augmentation du volume respiratoire ne serait pas causée par une augmentation de la fréquence respiratoire (FR), mais plutôt par une augmentation du volume courant. Les filtres des masques ajoutent une composante de résistance à l'inspiration et à l'expiration, ce qui a pour effet de diminuer la fréquence respiratoire et perturber le rythme respiratoire normal (Louhevaara, Tuomi et al. 1984). Lors du port prolongé du masque, l'espace mort plus important favorise l'augmentation de la concentration de dioxyde de carbone (CO_2) dans l'espace des voies respiratoires. Ce CO_2 serait à nouveau inhalé par l'utilisateur et pourrait conduire à une réponse physiologique d'hyperventilation (Jouannique 1993).

Lors d'une étude où les participants devaient fournir un effort modéré de 1 h sur tapis roulant réglé à vitesse constante (2,7 à 4 km/h), Roberge et al. (2010a) ont mesuré les concentrations de CO_2 et d' O_2 à l'intérieur du masque. Ces concentrations étaient quantifiées avec un analyseur métabolique (Moxus) couplé à un tube de 2 mm de diamètre. Un petit trou était percé dans le masque directement entre le nez et la bouche pour permettre d'introduire le tube cédé à l'intérieur du masque afin de conserver l'étanchéité de l'APR. Les résultats ont démontré qu'avec le port d'un APR de type N95, les concentrations de CO_2 étaient au-dessus des normes de travail acceptables pour la qualité de l'air ambiant ($< 0,5\% \text{CO}_2$) et les concentrations d'oxygène (O_2) étaient en dessous de ces normes de travail ($> 19,5\% \text{O}_2$). Pour des travailleurs plus âgés, cette situation peut devenir encore plus contraignante, car ils ont habituellement une capacité cardio-respiratoire diminuée et par conséquent, ils utilisent à l'exercice une fraction d' O_2 plus importante que celle utilisée par des plus jeunes pour réaliser une même tâche (Fabre, Chamari et al. 1994).

Pour les contraintes cardio-respiratoires, l'étude de Roberge et al. (2010 b) n'a pas permis de démontrer que le port du masque augmentait de façon significative la fréquence cardiaque des participants lorsque l'effort physique est modéré et que la température ambiante est normale ($\cong 23^{\circ}\text{C}$), soit les conditions des personnes travaillant à l'air conditionné. Dans le domaine de la construction, les travailleurs doivent parfois effectuer des tâches dans des conditions climatiques beaucoup plus exigeantes qui impliquent le port d'un APR. Pour les travailleurs œuvrant à l'extérieur, l'interaction entre la température et l'humidité engendre des contraintes thermiques beaucoup plus importantes en plus d'être exposés aux rayons du soleil ou de devoir porter des vêtements de protection dans certains cas.

Kim et al. (2013) ont démontré que lorsque la contrainte physique augmente en marchant sur un tapis roulant à une vitesse soutenue de 5,6 km/h durant une heure, le port d'un APR de type N95 causait une augmentation significative de la fréquence cardiaque variant de 5,7 à 10,6 battements par minute ($p < 0,001$) et de la fréquence respiratoire variant de 1,4 à 2,4 respirations par minute ($p < 0,05$) par rapport à une situation sans APR. Ils ont aussi observé une augmentation du taux de CO_2 transcutané variant entre 1,7 et 3,0 mmHg ($p < 0,001$), qui serait causée par le port du masque. Par contre, ils n'ont pas observé de différences significatives au niveau de la saturation en oxygène. Les mesures de saturation de l'hémoglobine ainsi que la fréquence cardiaque ont été prises avec un système de monitoring (Tosca 500 Monitor; Radiometer, Copenhagen, DK) au niveau du lobe de l'oreille. Ces chercheurs concluent que ces augmentations de la réponse cardiaque et des concentrations de CO_2 obtenues lors du port d'un APR de type filtrant demeurent relativement faibles et seraient généralement bien tolérées par les personnes en bonne santé lors d'une activité physique modérée d'une heure. Selon eux, l'intensité de l'exercice ainsi que le temps d'utilisation de l'APR ont limité les effets sur la saturation en oxygène.

Pour Williams et al. (2010), l'augmentation de CO₂ contenu dans le masque pourrait causer des problèmes de vigilance et suggèrent qu'une diminution de la concentration d'oxygène dans ce micro-environnement peut aussi passer inaperçu par l'utilisateur et une perte de conscience sans avertissement devient alors possible. Cette situation pourrait causer des blessures plus graves ou même un décès si un travailleur de la construction se trouvait à ce moment dans un environnement hasardeux (p. ex., travail sur des échafaudages). Selon AlGhamri et al. (2013), le port d'un APR affecte négativement la capacité à résoudre des problèmes et à prendre des décisions rapides. Leurs résultats ont démontré que le port d'un APR augmentait significativement le taux d'erreur lors de la réalisation d'un test cognitif. L'étude de Wu et al. (2011) a même démontré que le port d'un demi-masque en élastomère muni de deux cartouches filtrantes de type P100 augmentait significativement le niveau d'anxiété lors de la réalisation de tâches de travail simulées. Lors de situations d'urgence qui ont généralement pour effet d'entraîner des réponses physiologiques importantes, le port d'un masque peut causer une sensation d'inconfort extrême (vision affectée, stress thermique augmenté et pression mécanique douloureuse sur le visage) et produire un comportement de panique chez l'utilisateur. Au niveau de la sécurité au travail, l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'espace des voies respiratoires peut entraîner une sensation de manque d'air pouvant provoquer un retrait partiel ou complet du masque chez l'utilisateur et le conduire à une exposition directe en présence de contaminants (Jouanique, 1993).

Le confort physique associé au port des APR semble aussi être un facteur déterminant pour que les travailleurs acceptent de porter un APR dans les situations où les risques de contamination sont perçus comme étant moins importants. Une enquête menée dans le secteur médical par Locatelli et al. (2014) suggère que plusieurs intervenants ne portent pas un APR en raison de l'inconfort ressenti lorsque celui-ci est porté sur une période prolongée. Certaines des personnes interrogées pouvaient même décrire les caractéristiques physiques des masques qu'elles identifiaient comme étant la source

des inconforts. Selon ces chercheurs, l'évaluation du confort et de la tolérance devrait idéalement se faire au cours des essais d'ajustement étant donné que le port d'un APR en situation réelle de travail risque d'être fortement influencé par les conditions environnementales. Par exemple, des conditions de chaleur et d'humidité relative élevées peuvent conduire à une sudation importante qui aura pour effet d'augmenter la sensation d'inconfort et accentuer certains problèmes cutanés tels que l'acné (Jouannique et al., 1993).

Les résultats des études antérieures démontrent que le port d'un APR cause une augmentation de la demande cardio-respiratoire seulement lorsque la charge de travail devient plus importante, et que l'inconfort semble être influencé par les conditions environnementales. Selon la littérature actuelle, il n'existe aucune étude sur les APR qui s'est intéressée à l'importance des contraintes physiologiques associées à l'interaction entre l'importance de l'activité de travail et la chaleur ambiante du milieu. L'étude de Holmér et al. (2007) avait seulement mesuré la fréquence et le volume respiratoire lors de l'augmentation de l'effort sur un tapis roulant dans un environnement à 22 °C. Si la combinaison de ces facteurs affecte davantage la qualité de l'air disponible pour le travailleur et conduit à une situation d'inconfort majeur, cette situation doit être documentée. En effet, une augmentation de la concentration de CO₂ à l'intérieur d'un APR peut causer une sensation de dyspnée chez l'utilisateur et conduire à son retrait malgré la présence de contaminants. L'hypoxémie peut elle aussi passer inaperçue par le porteur du masque et le travailleur peut perdre conscience sans avertissement. Des mesures de la saturation en oxygène cérébrale transcrânienne à l'aide de la spectroscopie dans le proche infrarouge (SPIR) permettraient probablement de mettre en évidence la présence d'une hypoxémie cérébrale lors du port d'un masque avec effort physique important. La SPIR a déjà été utilisée lors d'études afin de mesurer l'oxygénation cérébrale pendant des efforts à la marche sur tapis roulant (Miyai, Tanabe et al. 2001, Suzuki, Miyai et al. 2004). Des chercheurs utilisant cette technique ont démontré que des efforts physiques exigeants causaient une baisse de l'oxygénation

cérébrale (Oussaidene et al., 2013). Selon Ando et ses al. (2011), cette baisse de l'oxygénation cérébrale se produirait lors d'un effort exigeant entre 60 % et 80 % de la capacité cardio-respiratoire maximale (VO_2 max) et affecterait la performance lors de la réalisation d'une tâche perceptivo-motrice. Si le port d'un APR affecte la quantité de O_2 disponible dans l'espace des voies respiratoires, il sera intéressant d'évaluer à quel niveau d'effort l'oxygénation cérébrale serait affectée.

La température ambiante est un facteur à considérer lors de l'évaluation des contraintes physiologiques à l'effort. Dès que celle-ci atteint des valeurs de 21 à 26 °C, la production de chaleur métabolique devient une contrainte à considérer lors d'un exercice physique. La température ambiante affecte directement l'évolution de la température interne, la fréquence cardiaque, du volume d'éjection systolique ainsi que du débit cardiaque lors d'un exercice à intensité croissante (Wilmore et al., 2009). L'augmentation de la température interne dans un environnement chaud provoque une vasodilatation cutanée afin de répondre aux besoins de thermorégulation. Cette redistribution des apports sanguins diminue le retour veineux donc une diminution du volume d'éjection systolique. Ainsi, afin de maintenir un apport en oxygène des muscles impliqués dans l'exercice, la fréquence cardiaque augmente pour améliorer le débit cardiaque. De plus, l'affinité de l'hémoglobine et de l'oxygène est réduite lorsque la température du sang est élevée. Normalement, le sang est refroidi au niveau des poumons par l'air frais inhalé, ce qui permet d'augmenter l'affinité de l'hémoglobine et de l'oxygène et de favoriser les échanges gazeux pulmonaires (Wilmore et al., 2009). Dans des conditions où l'air inhalé serait chaud dû à une température ambiante élevée en plus du port d'un masque, la capacité de transport de l'oxygène par le sang risque d'en être affectée. L'étude de Suggs et Splinter (1961) s'est intéressée à l'interaction entre la température ambiante, l'humidité relative et l'intensité de l'exercice et leur effet sur la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire ainsi qu'à la consommation d'oxygène. Ils en sont venus à conclure que l'importance des paramètres pour chaque variable physiologique n'était pas fixe. Plus spécifiquement, les effets de la

température ambiante sur la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire et la consommation d'oxygène dépendent également de l'intensité de l'effort physique. Les effets de la température ambiante sont plus grands lorsque l'intensité de l'effort est plus grande. Il reste à vérifier si le port d'un APR peut causer une augmentation supplémentaire des contraintes physiologiques lors d'un effort physique important à des températures élevées.

CHAPITRE IV

MÉTHODOLOGIE

4.1 Sujets

Huit participants, âgés entre 20 et 30 ans, ont été recrutés sur une base volontaire parmi les étudiants inscrits au programme des sciences de l'activité physique de l'UQAM. Comme l'effort physique demandé lors des tests sur tapis roulant ne requiert aucune expérience de travail particulière, ces sujets étaient en mesure de réaliser les conditions expérimentales. Ils n'avaient par ailleurs aucune expérience de travail avec le port d'un APR. Les participants étaient non-fumeurs et en bonne capacité cardio-respiratoire pour assurer un échantillon de sujets homogènes et en bonne santé. Ils devaient passer un test progressif d'estimation du VO_2 maximal (VO_2 max) sur tapis roulant et avoir un résultat se situant entre 40 et 65 ml/kg/min et avoir un pourcentage de graisse corporelle entre 7 et 20 % pour participer à l'étude. Ils ont également rempli un questionnaire QAAP (voir annexe B) afin de s'assurer de leur aptitude à pratiquer l'activité physique (American College of Sports Medicine (ACSM, 2000)). Les participants ont tous réussi un essai d'ajustement avec l'APR utilisé dans l'étude, selon la norme CSA-Z94.4-F11.

Critères d'inclusion :

- Être un homme;
- Être âgé entre 20 et 30 ans;
- Être non-fumeur;
- Avoir un VO_2 max entre 40 et 65 ml/kg/min;

- Ne pas prendre de médicament;
- Ne pas consommer de drogues;
- Avoir répondu non à toutes les questions du QAAP.

La journée des tests, les sujets devaient respecter les consignes suivantes :

- Ne pas faire d'exercices soutenus (pas de pratique sportive ou d'entraînement musculaire ou cardio-vasculaire) 24 heures avant l'évaluation;
- Ne pas prendre de repas 2 heures avant l'évaluation;
- Ne pas prendre de drogue ou stimulant 12 heures avant l'évaluation;
- Faire la liste de la nourriture ingérée 12 heures avant l'évaluation;
- Boire 1 litre d'eau 2 heures avant le test et un autre 500 ml 30 minutes avant le test;
- Être fraîchement rasé;
- Porter la même tenue sportive (short, T-shirt et chaussures de course) lors des tests.

L'obtention d'une approbation auprès du comité d'éthique de l'UQAM (annexe E) a précédé toutes les expérimentations avec les participants, afin d'assurer notamment la sécurité des expérimentations et la confidentialité des données. Les participants ont signé le formulaire de consentement avant leur participation à l'étude. Le tableau 4.1 contient les informations relatives à chaque sujet.

Tableau 4.1 Caractéristiques des sujets de l'étude.

Sujet	Âge	Taille (cm)	Poids (kg)	VO ₂ max estimé (ml/kg/min)
1	27	174	73	49,76
2	22	188	77	53,18
3	23	188	77	62,55
4	22	176,5	71,3	53,91
5	24	183	80	52,05
6	22	172,5	84,9	54,12
7	27	184	82,2	61,84
8	30	175	79,5	41,15

4.2 Essais d'ajustement et d'étanchéité des APR

Avant la réalisation des expérimentations, les participants devaient réussir un essai d'ajustement avec l'APR (3M série 6000 avec filtre P100 modèle 2091).

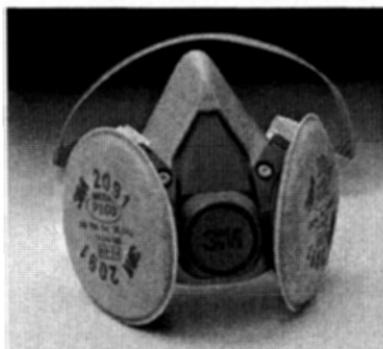


Figure 4.21 Photographie de l'appareil de protection respiratoire (3M série 6000 avec filtre P100 modèle 2091) utilisé pour l'étude

Les essais d'ajustement visent à s'assurer que l'utilisateur enfile et retire l'APR correctement, et que celui-ci est porté de manière à créer un joint facial suffisant pour atteindre les facteurs de protection caractéristiques visés ($FPC = 10$ pour une pièce faciale filtrante ou un demi-masque en élastomère). La procédure d'essai d'ajustement quantitatif recommandée dans la norme CSA-Z94.4-F11 a été suivie. Elle consiste à utiliser un aérosol ambiant comme agent d'essai, puis un compteur de particules (TSI 8038) pour quantifier les concentrations à l'intérieur (C_{int}) et à l'extérieur (C_{ext}) de l'APR pendant différents exercices, et finalement calculer le facteur d'ajustement (FA) de la manière suivante :

$$FA = C_{ext} / C_{int} \quad (\text{Équation 1})$$

Le succès aux essais d'ajustement est validé si et seulement si :

$$FA \geq 10 \times FPC \quad (\text{Équation 2})$$

soit, pour une pièce faciale filtrante ou un demi-masque en élastomère

$$FA \geq 100.$$

Outre les rappels d'usage sur la pilosité du visage et l'impact des caractéristiques personnelles (port de lunettes ou de lentilles cornéennes, bijoux faciaux, coupe de cheveux...), une emphase particulière a été portée sur les essais d'étanchéité à réaliser avant chaque port d'APR, afin que ces derniers soient parfaitement en place lors de la réalisation des conditions de l'étude. Les procédures mises en œuvre pour s'assurer de l'étanchéité des APR étaient celles de la norme CSA 94.4-F11 pour les demi-masques en élastomère, et celles fournies par le fabricant.

4.3 Conditions expérimentales (variables indépendantes)

Cette étude a servi à mesurer l'importance des contraintes physiologiques associées au port d'un APR selon l'effort demandé et la température ambiante lors d'un test de marche sur un tapis roulant (modèle Pulsar 3p, h/p/cosmos) à 6 km/h. Pour contrôler l'effort physique de chaque sujet, la pente du tapis a été ajustée toutes les cinq minutes de façon à obtenir six paliers allant de 30 % à 80 % du coût cardiaque relatif (CCR). Des conditions avec et sans APR ont été évaluées selon trois variations de la température ambiante (23°, 29° et 35 °C). Ces trois niveaux de température représentent des températures chaudes se retrouvant habituellement au Québec durant la période estivale. Pour cette raison, la température de 35 °C a été utilisée comme maximum puisqu'elle est légèrement supérieure aux températures généralement rencontrées durant les périodes de canicule. Ces tests ont eu lieu dans une chambre climatique où l'humidité relative était maintenue à 50 % (± 5 %). Pour chaque sujet, un APR à l'état neuf a été utilisé et l'étanchéité était vérifiée selon la méthode décrite au paragraphe précédent. Six conditions expérimentales ont été réalisées selon un ordre aléatoire par chacun des huit sujets qui participaient à cette étude :

1. Test de 30 % à 80 % du CCR avec la température de 23 °C sans APR
2. Test de 30 % à 80 % du CCR avec la température de 29 °C sans APR
3. Test de 30 % à 80 % du CCR avec la température de 35 °C sans APR
4. Test de 30 % à 80 % du CCR avec la température de 23 °C avec APR
5. Test de 30 % à 80 % du CCR avec la température de 29 °C avec APR
6. Test de 30 % à 80 % du CCR avec la température de 35 °C avec APR

4.4 Mesures (variables dépendantes)

4.4.1 Mesures des contraintes physiologiques

Pour les tests en environnement contrôlé, plusieurs variables ont été mesurées afin d'évaluer les contraintes physiologiques associées au port de l'APR et comprendre les effets associés aux contraintes cardio-respiratoires. Des mesures des fréquences respiratoire et cardiaque ont été prises. Les concentrations de dioxyde de carbone et d'oxygène à l'intérieur de l'APR ont aussi été mesurées. L'oxymétrie cérébrale transcrânienne a aussi été évaluée afin de mesurer les changements dans le métabolisme cérébral en oxygène et tenter d'expliquer l'éventuelle baisse du rendement des activités perceptivo-motrices. La température de l'air à l'intérieur du masque et la température centrale du corps ont été prises pour bien documenter les inconforts ressentis et comprendre les adaptations physiologiques reliées à la thermorégulation. L'échelle de perception psychophysique a été utilisée pour évaluer le niveau d'effort perçu par le participant (annexe F).

La spectroscopie dans le proche infrarouge a été utilisée pour mesurer le niveau de saturation en oxygène cérébrale transcrânienne. Cette technique non invasive permet de surveiller les changements dans la saturation en oxygène régionale. Plus spécifiquement, elle permet la mesure locale de la saturation de l'hémoglobine cérébrale en oxygène (rSO₂) (SenSmart™ Modèle X-100, Nonin), par l'utilisation d'un capteur (rSO₂ 8004CA SenSmart™ EQUANOX™) positionné sur l'angle fronto-temporal gauche, au-dessus des yeux. Les longueurs d'ondes laser émises (730 nm, 760 nm, 810 nm et 880 nm) pénètrent la boîte crânienne et se trouvent dispersées par la substance cérébrale où une partie spécifique du spectre est absorbée par l'hémoglobine oxygénée (HbO₂) et une autre par l'hémoglobine réduite. La quantité de lumière

réfléchi permet de calculer la teneur en oxygène de la zone cérébrale explorée. Les valeurs normales à l'état éveillé oscillent généralement entre 60 et 75 %. Bien que l'évolution du chiffre soit plus intéressante en recherche expérimentale que la valeur absolue mesurée, une rSO_2 inférieure à 50 % constituait un critère d'arrêt du test. Afin d'obtenir une mesure comparative entre les différentes conditions, les valeurs de rSO_2 ont été converties en valeurs relatives. Les valeurs de rSO_2 mesurées lors du premier palier ont servi de référence « zéro » et les paliers suivants ont été calculés selon l'équation 3 :

$$rSO_2 \text{ relatif} = \text{palier } n - \text{palier } 1 \quad (\text{Équation 3})$$

Cette opération permet de réduire la variation de la rSO_2 de départ causée par le repositionnement d'un nouveau capteur entre les différentes conditions. L'étude de Kreeger et al. (2012) a permis de valider le modèle X-100 en comparant ses données de saturation en oxygène avec une mesure invasive. Les capteurs Equanox utilisent un double émetteur/détecteur pour créer des paires de chemins lumineux à travers les tissus superficiels et le cortex cérébral. Jumelée avec un algorithme, l'utilisation de deux trajets lumineux (surface : 20 mm et profondeur : 40 mm) permet de réduire les interférences causées par la lumière extérieure ainsi que les composantes en surface.

Pour les mesures de dioxyde de carbone et d'oxygène à l'intérieur de l'APR, deux appareils ont été utilisés (CO₂ sensor model p61-B, O₂ analyser modelS3-A/L, AEI Technologies, Naperville, Illinois) (LifeSense®, Nonin).

Le premier appareil (CO₂ sensor model p61-B, O₂ analyser modelS3-A/L, AEI Technologies, Naperville, Illinois) est un analyseur de gaz permettant d'avoir une valeur moyenne des concentrations de dioxyde de carbone et d'oxygène à l'intérieur de l'APR. Un tuyau de raccordement de 2 mm d'ouverture a été disposé à travers la

membrane polymère du masque près du nez et de la bouche aux analyseurs de concentration passant par une boîte à mélange de 500 ml. L'étanchéité du système de chaque APR a été vérifiée lors du test d'ajustement où les tuyaux de raccordement ont été bouchés. Roberge et al. (2010) ont utilisé cette technique afin de mesurer les concentrations de gaz contenu dans le volume mort de l'APR. Le prélèvement des gaz d'un échantillon de 500 ml a l'avantage de permettre de mesurer l'évolution des concentrations moyennes de CO₂ et d'O₂ dans le temps. Par contre, cette méthode engendre un délai de temps entre la concentration réelle dans l'APR et la mesure enregistré causé par la boîte à mélange.

Le deuxième appareil (LifeSense®, Nonin) est un appareil utilisé dans le domaine médical. La capnographie permet de mesurer la concentration de dioxyde de carbone dans les gaz respiratoires ainsi que la fréquence respiratoire. La capnographie est la représentation graphique des variations de la concentration en CO₂ (capnogramme) dans les gaz respiratoires. Les trois déterminants de la pression télé-expiratoire en CO₂ (EtCO₂) sont la production métabolique de CO₂, son transport vers les poumons par la circulation et son élimination par la ventilation. L'interprétation des données de la capnographie repose sur l'analyse conjointe de la valeur de l'EtCO₂ et de la forme du tracé. L'évaluation de la fréquence respiratoire est obtenue à partir d'échantillons de gaz CO₂ en fin d'expiration, prélevés en continu avec une tubulure passant à travers la partie en élastomère de l'APR. L'étanchéité de ce passage était assurée via un joint compressif et scellé avec de la gelée de pétrole. L'étanchéité du système de chaque APR a été vérifiée lors du test d'ajustement où les tuyaux de raccordement étaient bouchés. Cette méthode permet d'analyser la différence de concentration de CO₂ entre l'air inspiré et l'air expiré à chaque cycle respiratoire en temps réel en plus de donner directement la fréquence respiratoire. Pour les conditions sans APR, l'analyse des gaz expirés était réalisée par l'intermédiaire d'une canule nasale.

La température corporelle interne (core) a été mesurée grâce à une sonde jetable (Core Temperature Pill) qui était été ingérée par le sujet au moins 45 minutes avant le début des tests. Elle fournit une lecture de la température centrale aux 15 secondes. Les données ont été recueillies à l'aide de l'appareil Equivital™ Life Monitor (modèle LM1000, Bio-Lynx Scientific Equipment) avec une précision de $\pm 0,1$ °C. La température de l'air à l'intérieur du masque a été mesurée avec un senseur miniature (modèle BN-TEMP-B-XDCR, Biopac Systems).

La fréquence cardiaque moyenne (FC) a été mesurée aux 15 secondes avec un cardio-fréquence mètre (POLAR Model RS800). La fonction principale de la fréquence cardiaque est d'augmenter le débit cardiaque afin de fournir l'oxygène nécessaire aux muscles actifs (Wilmore et al., 2009). L'augmentation de la fréquence cardiaque permet de répondre aux besoins engendrés par l'exercice. Il existe une relation linéaire entre la fréquence cardiaque et la consommation d'oxygène lors d'un exercice modéré à relativement intense (McArdle et al., 2001). Toutefois, lorsqu'un travail physique est réalisé en ambiance chaude, la fréquence cardiaque va augmenter pour améliorer le débit sanguin cutané et abaisser la température interne du corps. Lorsque la température corporelle augmente, les besoins en thermorégulation s'ajoutent à ceux de la contrainte musculaire imposée par l'exercice et augmentent le rythme cardiaque pour assurer la perte de chaleur. L'astreinte physiologique peut devenir encore plus pénible lorsque l'humidité relative est importante. En effet, lorsque l'humidité relative est grande, la capacité de l'air ambiant à absorber de l'eau est diminuée et rend la perte de chaleur par évaporation de moins en moins efficace. Pour cette étude, l'humidité relative était constante et maintenue à 50 %. Bien que les sujets soient en bonne condition physique, qu'ils aient été préalablement bien hydratés et que les essais sur tapis roulant aient une durée limitée de 30 minutes, les risques liés au coup de chaleur (CSST, 2008) ont préalablement été évalués en tenant compte des mesures des différents paliers de charge physique imposés et de l'ambiance thermique dans la chambre climatique. L'expérimentateur ou les participants pouvaient mettre fin aux essais si des signes de

fatigue ou des symptômes de troubles liés à la contrainte thermique apparaissaient, ou encore si la fréquence cardiaque du sujet dépassait 85 % de sa FC maximale estimée.

Afin de limiter les différences intra-individuelles liées au rythme basal, les données de fréquence cardiaque ont été analysées en terme de coût cardiaque relatif qui tient compte de la fréquence de repos (FC_{repos}), de la fréquence maximale prédite du sujet ($FC_{max} = 220 - l'âge$) (ACSM, 2000) et de la fréquence à laquelle l'activité est effectuée ($FC_{travail}$). L'équation 4 présente le calcul permettant de convertir les valeurs de fréquence cardiaque en coût cardiaque relatif.

$$CCR = \frac{(FC_{travail} - FC_{repos})}{(FC_{max} - FC_{repos})} \quad (\text{Équation 4})$$

4.4.2 Tests perceptivo-moteurs

Avant le début du test sur le tapis roulant, le participant devait réaliser deux tâches perceptivo-motrices pour vérifier l'effet de la variation des variables physiologiques sur le traitement de l'information et le contrôle moteur. Au préalable, une période de pratique était allouée afin de réduire les effets de l'apprentissage. Le participant devait s'exercer sur les deux tâches perceptivo-motrice jusqu'à ce qu'un plateau soit atteint au niveau de la performance. Le critère d'atteinte de ce plateau était 3 essais avec moins de 2 % d'amélioration de la performance.

La première tâche était une évaluation du temps de réaction dans une situation de stimuli-réponses à quatre choix. Pour se faire, quatre lumières étaient disposées dans le champ visuel du sujet et à l'illumination de l'une d'elles, le participant devait appuyer sur l'une des quatre clés télégraphiques correspondantes disposées devant lui.

Le temps de réaction mesuré représente la période entre l'ouverture de la lumière et l'enfoncement de la clé télégraphique. Un total de 20 essais était réalisé dans un ordre aléatoire. Ces essais ont été repris durant la marche sur le tapis roulant après la deuxième minute de chaque palier d'effort. Ces évaluations ont permis de vérifier si le port du masque dans certaines conditions cause un ralentissement significatif du traitement de l'information. Le choix de ce paradigme expérimental s'appuie sur la loi de Hick-Hyman (Hyman, 1953) selon laquelle le temps de décision est proportionnel au logarithme du nombre d'alternatives.

La deuxième tâche qui était réalisée juste avant le départ de la marche sur le tapis roulant portait sur la capacité des participants à réaliser des mouvements rapides et précis. Le participant devait atteindre en alternance avec le bout de son index deux cibles espacées de 500 mm à partir de leur centre. La taille des cibles était de 15 mm de diamètre. Selon la loi de « Fitts », cette disposition des cibles permet d'obtenir un indice de difficulté relativement élevé de 6 BITS (Fitts, 1954, Hoffmann, 1995). L'indice de difficulté (ID) est calculé à partir du logarithme binaire de l'amplitude de mouvement (A) et de la largeur de la cible (W) de la manière suivante :

$$ID = \log_2 \left(\frac{2A}{W} \right) \quad (\text{Équation 5})$$

Le participant devait réaliser trois essais de 15 secondes où le but était d'atteindre la cible un maximum de fois. Le décompte des contacts sur la cible en 15 secondes était fait manuellement lors du traitement de données. La variable retenue est le temps de mouvement moyen entre les deux cibles. La coordination visuo-motrice impliquée dans cette tâche est importante et elle devait permettre de constater si la coordination motrice a été affectée par le port d'un APR.

4.4.3 Tests psychophysiques

Des tests psychophysiques ont aussi été utilisés lors de la réalisation de l'étude pour connaître la perception des participants de l'intensité des contraintes physiologiques par rapport aux différentes conditions expérimentales. Il a été démontré que pendant un exercice, les tests psychophysiques ont une relation linéaire avec l'intensité de l'exercice. Sköldstrom (1987) a démontré que la forte corrélation, observée entre l'évaluation psychophysique et la fréquence cardiaque, révèle que les participants sont très conscients des contraintes physiologiques que l'intensité du travail physique et la chaleur leur imposent. D'où la pertinence de prendre en considération l'évaluation psychophysique des participants dans cette étude. L'échelle utilisée lors de ces tests était l'échelle de Borg 6-20. Cette échelle est principalement utilisée dans les situations où les contraintes physiques ressenties par les participants sont principalement associées à l'augmentation de la fréquence cardio-respiratoire. L'échelle 6-20 correspond au fait que chez les jeunes adultes, la fréquence cardiaque varie généralement de 60 à 200 battements par minute. C'est la plage possible entre l'état de repos et la fréquence cardiaque maximale. Durant toute la séquence, le participant devrait transmettre à l'expérimentateur sa perception d'effort physique toutes les 5 minutes en pointant le niveau inscrit sur un panneau situé très près de lui à droite du tapis roulant. Pour un test de 30 minutes, 6 mesures ont été prises pour évaluer la progression de l'effort cardio-respiratoire ressenti.

4.5 Procédures

Une semaine avant le début des tests, les participants potentiels à l'étude devaient remplir le formulaire de consentement (annexe A) et passer un test d'ajustement et d'étanchéité des APR. Si le test d'ajustement était réussi, le questionnaire de santé (QAAP) étaient remis au participant. L'âge, le poids ainsi que la taille du participant ont été mesurés avant de réaliser le test VO₂ max.

Pour chaque participant, un délai d'une durée minimal de trois jours était imposé entre les expérimentations. Les tests devaient être réalisés au même moment de la journée afin d'éviter les variations du cycle circadien et ainsi avoir une constance dans la prise des mesures. Plus précisément, le cycle circadien joue un rôle important sur la sécrétion d'hormone pouvant affecter la fréquence cardiaque, la production d'énergie, la température centrale, les capacités à l'effort ainsi que la vigilance des participants (Gronfier, 2009, Yazdanian, 2013). Ces tests se déroulaient dans une chambre climatique où l'humidité relative était maintenue à 50 % (± 5 %). Les tests sur le tapis roulant avaient une durée maximale à l'effort de 30 minutes. Le tapis était muni d'un mécanisme d'arrêt d'urgence et de rampes permettant de prévenir les pertes d'équilibres en cas de besoin. Durant le test, ces rampes ne devaient pas être maintenues sauf dans le cas d'une situation hasardeuse pouvant mener à un accident. De plus, le tapis roulant était muni d'un harnais de sécurité qui permet de retenir le sujet et d'arrêter le tapis en cas de chute. Un défibrillateur automatisé externe était également sur place en cas d'arrêt cardio-respiratoire.

Suite à la réalisation des tests, le participant demeurait en observation jusqu'à ce que les signes vitaux de fréquence cardiaque et de température interne aient atteint leur valeur de repos. De plus, pour prévenir les risques de déshydratation, le participant devait boire 1L d'eau dans les 30 minutes suivant la fin du test.

4.5.1 Test de prédiction du VO₂ max et du coût cardiaque relatif associé à l'effort

Le but premier ce test était d'évaluer le niveau de condition physique des participants avant leur participation à l'étude. Selon plusieurs physiologistes, le test de VO₂ max est considéré comme le meilleur indice de la capacité d'endurance cardio-respiratoire (Wilmore et al., 2009), car ce test mesure la consommation maximale d'oxygène de l'organisme en une minute. Même si on augmente l'intensité de l'activité, la consommation d'oxygène n'augmente pas, elle stagne en plateau. Il s'agit de l'intensité la plus élevée que l'on peut atteindre en utilisant essentiellement les processus métaboliques aérobie (Wilmore et al., 2009).

Le test de prédiction sous maximale du VO₂ max utilisé est le test à la marche de Balke sur tapis roulant. Selon le principe de la spécificité, pour bien mesurer la capacité cardio-respiratoire, les participants doivent être testés dans des conditions les plus proches possible des tests (Wilmore et al., 2009). La valeur du VO₂ max a été extrapolée à partir d'un test de prédiction sous-maximal jusqu'à 85 % de la fréquence cardiaque maximale estimée afin d'éviter des problèmes de santé pour le sujet (Scherrer et al., 1981). Dans des conditions climatiques normales (23 °C), la fréquence cardiaque croît linéairement en fonction de la consommation d'oxygène (Lepretre, 2004, Wilmore et al., 2009). La courbe de régression linéaire a permis de prédire la consommation d'oxygène à la fréquence cardiaque maximale estimée. En tout temps durant le test sous-maximal et les autres tests, l'expérimentation était interrompue lorsque le participant atteignait 85 % de sa fréquence cardiaque maximale [(220-âge)*85 %] (ACSM, 2000).

Le protocole a été effectué en respectant les étapes suivantes :

1. Prendre la fréquence cardiaque de repos. Le sujet s'assoit dans une chaise de laboratoire et après 5 minutes, la fréquence cardiaque de repos est prise;
2. Expliquer les techniques de marche sur tapis roulant au sujet et laisser le sujet se familiariser avec le tapis (pente de 0 %) et le port des appareils (cardiofréquencemètre et analyseur métabolique);
3. Faire marcher le sujet à une vitesse de marche vive, mais confortable (5 km/h à 0 % d'inclinaison) durant 5 minutes. Cette phase constitue l'échauffement et elle précède le test;
4. Par la suite, le sujet effectue son test de prédiction sous-maximal par palier. Ce test consiste en 6 paliers de 3 minutes chacun, à une vitesse du tapis de 6 km/h, et avec une pente progressive du tapis, soit une pente de 3 % (1^{er} palier), 6 % (2^e palier), 9 % (3^e palier), 12 % (4^e palier), 15 % (5^e palier) et 18 % (6^e palier). Le test est arrêté lorsque le sujet atteint 85 % de sa fréquence cardiaque maximale prédite;
5. Une fois le test complété, le sujet devait terminer avec une marche lente de 3-5 minutes afin de favoriser le retour veineux et d'abaisser la fréquence cardiaque à un niveau adéquat (< 100bpm).

Le test était effectué dans une tenue sportive (short, T-shirt et espadrilles de course).

Pour être en mesure d'ajuster la pente du tapis roulant de façon à obtenir un effort progressif de 30 % à 80 % du CCR avec une vitesse de marche de 6 km/h, il faut mesurer la relation entre l'effort demandé (pente du tapis) et le CCR correspondant. Les valeurs stables de la fréquence cardiaque mesurées lors de la dernière minute de chaque palier ont permis de définir, à l'aide d'une régression linéaire, les pentes correspondantes aux six niveaux d'effort (30, 40, 50, 60, 70 et 80 % du CCR).

4.5.2 Contrôle des variables de la chambre climatique

La température et l'humidité relative dans la chambre climatique ont été contrôlées. Pour la température, les variations acceptées étaient de ± 1 °C. Pour l'humidité relative, les variations ne devaient pas excéder 5 %. Ces mesures d'ambiances thermiques ont été validées à l'aide d'un appareil moniteur d'environnement thermal QuesTEMPO 32, permettant d'évaluer l'indice de température au thermomètre à globe à boule humide (indice WBGT, Wet Bulb Globe Temperature). Cet appareil de mesure était positionné sur un trépied à une hauteur d'environ 1 m et à 80 cm du sujet. L'appareil était toujours mis en marche au moins 10 minutes avant le début du test sur le tapis roulant.

4.6 Limites

Le choix des sujets représente une faiblesse de l'étude puisque l'échantillon était composé uniquement d'étudiants du programme de kinésiologie de l'UQAM. Ainsi, les sujets avaient une meilleure condition physique que la population des travailleurs visés par notre étude. Par contre, ils représentent d'excellents sujets dans l'optique où ils n'avaient aucune expérience avec les masques, ce qui assure un jugement neutre pour chaque masque.

Le test de temps de réaction à quatre éventualités choisi n'était peut-être pas assez complexe pour pouvoir détecter un effet éventuel du port d'un APR sur le temps de réaction (Schmit, Davranche et al. 2015).

Les mesures de rSO₂ sont encore à valider à l'effort. L'appareil utilisé pour mesurer l'oxymétrie cérébrale lors de cette étude (SenSmart™ Modèle X-100, Nonin) a été

validé dans le domaine médical chez des sujets immobiles (Lobbestael, Wahr et al. 2012). Par contre, les mouvements et les impacts produits lors d'un effort physique demeurent une source d'artéfacts dans la lecture de l'oxymétrie cérébrale (Hamaoka, McCully et al. 2011). La déformation des tissus peut modifier la longueur du trajet lumineux lors d'un effort physique et ainsi affecter les valeurs enregistrées.

Pour l'analyse de la pression télé-expiratoire en CO₂ et des fréquences respiratoires, il est à noter que les mesures n'ont pas été prises de manière identique pour les conditions avec le port d'un APR et sans le port d'un APR. De plus, un changement de la respiration nasale vers la respiration buccale à des niveaux d'effort élevés pourrait affecter l'exactitude des mesures pour les conditions sans APR.

Il est aussi possible que la formule utilisée ($220 - \text{âge}$) pour estimer la fréquence cardiaque maximale des sujets (utilisée dans la formule du CCR) manque de précision (Robergs et Landwehr 2002). Il est à noter que les études réalisées auparavant (Roberge et al. 2010) ne considèrent pas les différences intra-individuelles.

4.7 Analyses statistiques

Des courbes tendances (linéaire ou polynomiale) ont été utilisées pour extrapoler les résultats qui sont présentés dans la section suivante. Cette étape a permis de filtrer les données (lissage) et de normaliser la fréquence d'échantillonnage des appareils de mesure. La régression linéaire a été utilisée pour prédire les fréquences cardiaques et respiratoires, la température de l'air inspiré, la température interne, la concentration en O₂ à l'intérieur de l'APR, la concentration de CO₂ à l'intérieur de l'APR ainsi que la pression télé-expiratoire. La courbe de régression polynomiale a été utilisée pour prédire la saturation en oxygène cérébrale. Les figures 4.2 et 4.3 présentent des

exemples de données brutes ainsi que les courbes tendances obtenues pour la variation des fréquences cardiaques et pour la saturation en oxygène cérébrale respectivement.

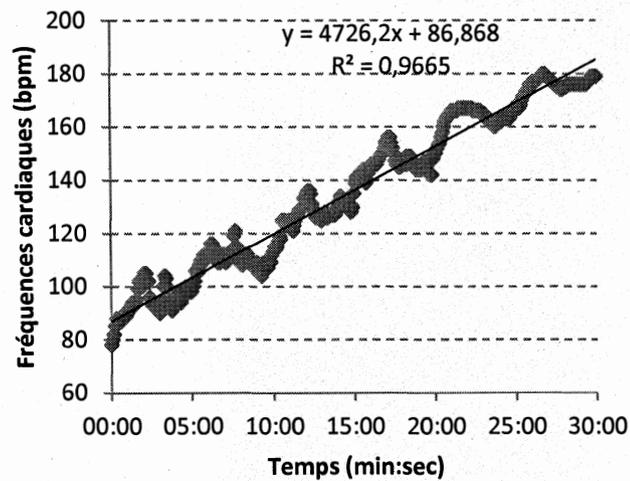


Figure 4.2 Représentation d'une droite de régression linéaire utilisée pour prédire la fréquence cardiaque du sujet 3 lors du test de marche sur tapis roulant à 35°C avec le port d'un APR.

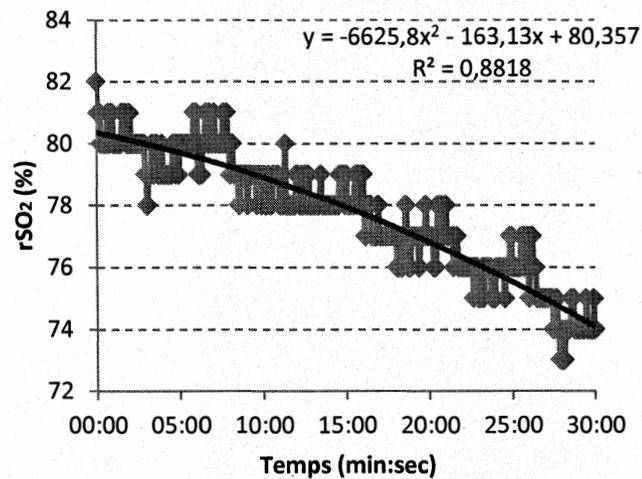


Figure 4.3 Représentation d'une courbe de régression polynomiale utilisée pour prédire l'oxymétrie cérébrale du sujet 2 lors du test de marche sur tapis roulant à 29°C avec le port d'un APR.

Pour l'analyse statistique, les données de chaque sujet ont été analysées à partir des 30 dernières secondes de chaque palier afin d'éliminer la phase d'adaptation à l'effort. Les données ont été analysées à l'aide du GraphPad Prism 7,04. Des analyses de variance à deux facteurs (two-way Anova) à mesures répétées ont été réalisées sur les variables dépendantes suivantes pour l'étude : les fréquences cardiaques, les fréquences respiratoires, la perception de l'effort, la température à l'intérieur de l'APR, la température interne, les concentrations en O₂ et en CO₂ à l'intérieur de l'APR, la saturation de l'hémoglobine cérébrale en oxygène (rSO₂), la pression télé-expiratoire en CO₂ (EtCO₂), le temps de réaction ainsi que le temps de mouvement pour évaluer l'intensité des contraintes physiologiques associées au port d'APR de type P100.

Les différents facteurs indépendants étaient les conditions avec et sans APR, les six niveaux de charge physique (30, 40, 50, 60, 70 et 80 % du CCR) et les trois niveaux de température (23°, 29° et 35 °C). Les effets d'interaction ont aussi été analysés via les analyses de la variance à deux facteurs. Une première analyse a été réalisée avec les facteurs niveau de charge physique et les conditions avec et sans APR pour chaque température ambiante. Une seconde analyse a ensuite été réalisée avec les facteurs températures ambiantes et les conditions avec et sans APR alors que les niveaux de charge physique étaient moyennés. Le niveau de confiance a été établi à 95 % ($p < 0,05$).

Des analyses par comparaisons multiples (tests « two-stage step-up method of Benjamini, Krieger, and Yekutieli ») ont permis de détecter des différences significatives pour les variables dépendantes selon les facteurs températures ambiantes et les niveaux de charge physique étudiés ($q < 0,05$).

CHAPITRE V

RÉSULTATS

Cette section présente les résultats pertinents obtenus pour les différentes conditions évaluées lors de cette étude. Un tableau résumé de toutes les analyses Anova est présenté en annexe (annexe C).

5.1 Effets de la température ambiante et du port d'un APR sur les fréquences cardiaques (FC)

La figure 5.1 présente les fréquences cardiaques des sujets ainsi que les écarts types, selon les différentes conditions évaluées et l'intensité de l'effort. L'analyse statistique Anova à deux facteurs à mesures répétées n'a pas permis de déceler de différence significative pour le facteur APR à 23 °C ($p = 0,1716$), 29 °C ($p = 0,1454$) et 35 °C ($p = 0,0723$) et pour l'interaction entre les facteurs APR*intensité à 23 °C, 29 °C et 35 °C ($p > 0,9999$). Des différences significatives ont été observées pour le facteur intensité, lors des conditions à 23 °C ($p < 0,0001$), 29 °C ($p < 0,0001$) et 35 °C ($p < 0,0001$). Par contre, il est à noter que le facteur intensité à lui seul n'est pas un facteur d'intérêt pour cette étude, son effet sur les différentes variables physiologiques mesurées est déjà très bien documenté dans la littérature sportive.

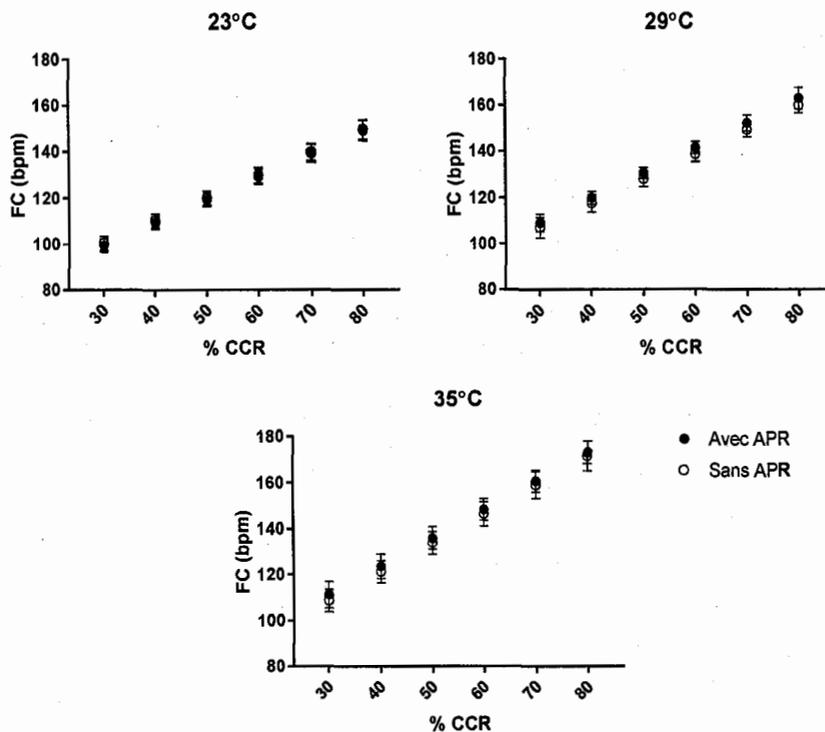


Figure 5.1 Les fréquences cardiaques pour les différentes conditions de port d'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C (* $p < 0.05$).

Tableau 5.1 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour les valeurs de fréquences cardiaques selon l'effet de l'intensité et de l'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C.

	23 °C	29 °C	35 °C
Effet intensité	< 0,0001*	< 0,0001*	< 0,0001*
Effet APR	0,1766	0,1454	0,0723
Interaction	> 0,9999	> 0,9999	> 0,9999

* $p < 0.05$

5.2 Effets de la température ambiante et du port d'un APR sur les fréquences respiratoires (FR)

La figure 5.2 présente les fréquences respiratoires des sujets ainsi que les écarts types, selon les différentes conditions évaluées et l'intensité de l'effort. L'analyse statistique Anova à deux facteurs à mesures répétées a permis de déceler une différence significative pour le facteur APR pour les conditions réalisées à 23 °C ($p = 0,0012$) et 35 °C ($p = 0,0028$) et une interaction entre les facteurs APR*intensité pour les conditions réalisées à 23 °C ($p = 0,0006$) et 35 °C ($p = 0,0003$). L'analyse par comparaisons multiples pour le facteur APR semble indiquer que la condition avec APR engendre une fréquence respiratoire supérieure par rapport à la condition sans APR pour les intensités de 70 % CCR à 23 °C ($q = 0,0042$) et 35 °C ($q = 0,0002$), ainsi qu'à 80 % CCR à 23 °C ($q = 0,0049$) et 35 °C ($q = 0,0002$).

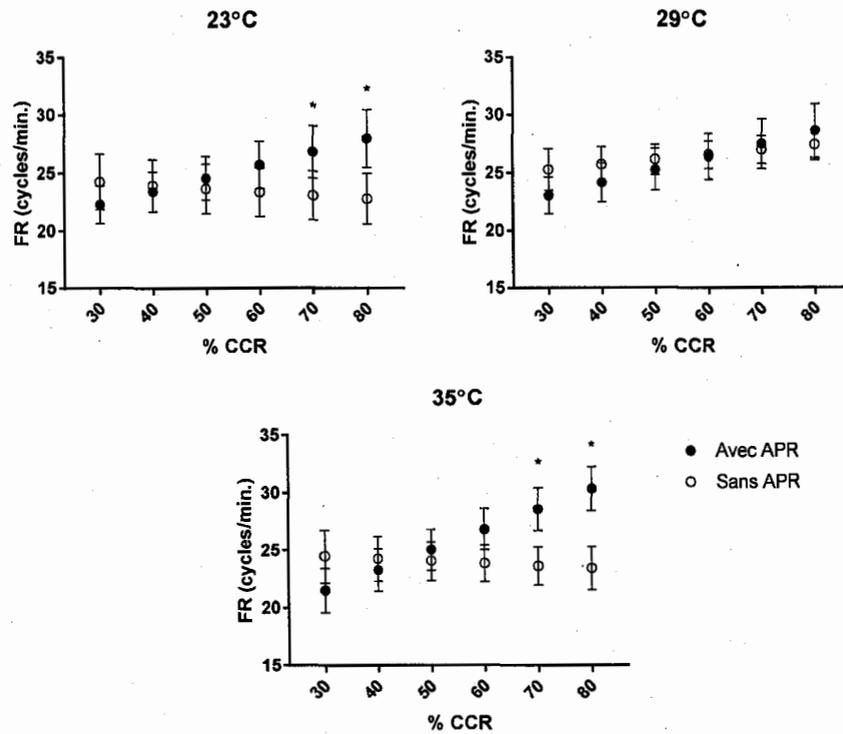


Figure 5.2 Les fréquences respiratoires pour les différentes conditions de port d'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C (*p<0.05).

Tableau 5.2 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour les valeurs de fréquences respiratoires selon l'effet de l'intensité et de l'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C.

	23 °C	29 °C	35 °C
Effet intensité	0,9785	0,5371	0,5962
Effet APR	0,0012*	0,2981	0,0028*
Interaction	0,0006*	0,3519	0,0003*

* p < 0.05

5.3 Effets de la température ambiante et du port d'un APR sur la perception psychophysique

La figure 5.3 présente la perception de l'effort des sujets ainsi que les écarts types, selon les différentes conditions évaluées et l'intensité de l'effort. L'analyse Anova à deux facteurs à mesures répétées a permis de déceler une différence significative pour les facteurs APR à 23 °C ($p = 0,0034$), 29 °C ($p = 0,0007$) et 35 °C ($p = 0,0001$), ainsi que le facteur intensité à 23 °C ($p < 0,0001$), 29 °C ($p < 0,0001$) et 35 °C ($p < 0,0001$) puis une interaction entre les facteurs APR*intensité à 35 °C ($p = 0,0054$). L'analyse par comparaison multiple pour le facteur APR semble indiquer que la condition avec APR à 35 °C engendre une perception de l'effort supérieure par rapport à la condition sans APR pour les intensités de 70 % CCR ($q = 0,0014$) et 80 % CCR ($q = 0,0010$).

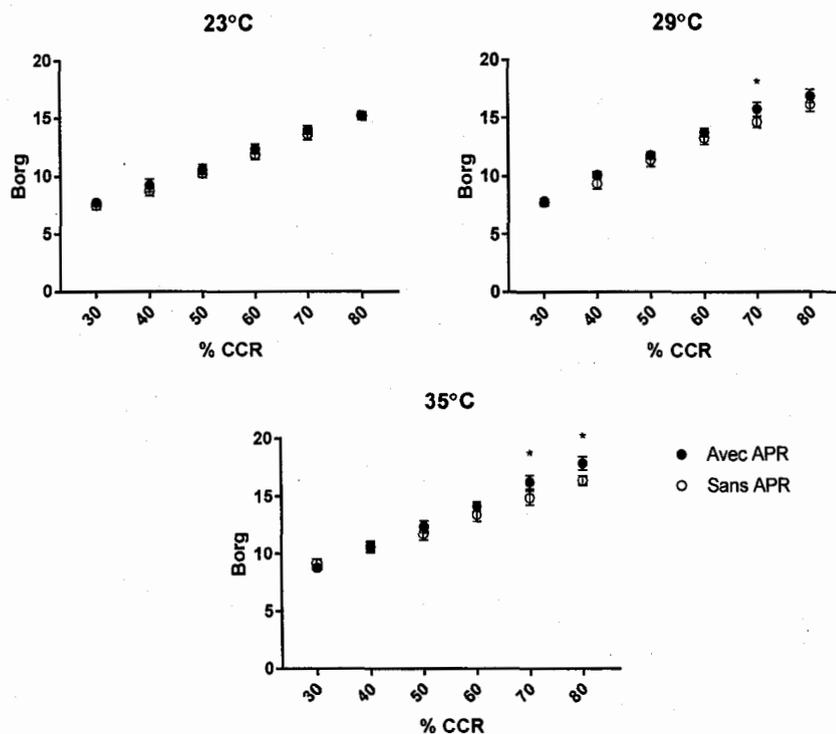


Figure 5.3 La cote de perception de l'effort pour les différentes conditions de port d'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C (* $p < 0.05$).

Tableau 5.3 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour la cote de perception de l'effort selon l'effet de l'intensité et de l'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C.

	23 °C	29 °C	35 °C
Effet intensité	< 0,0001*	< 0,0001*	< 0,0001*
Effet APR	0,0034*	0,0007*	0,0001*
Interaction	0,7657	0,5933	0,0054*

* $p < 0.05$

La figure 5.4 présente la cote de perception de l'effort ainsi que les écarts types, selon les différentes conditions de température ambiante et de port d'APR. L'analyse Anova à deux facteurs à mesures répétées a permis de déceler une différence significative pour le facteur température ($p = 0,0338$) et le facteur APR ($p < 0,0001$). Par contre, il ne

semble pas avoir eu d'effet d'interaction entre les facteurs température et APR ($p = 0,2833$).

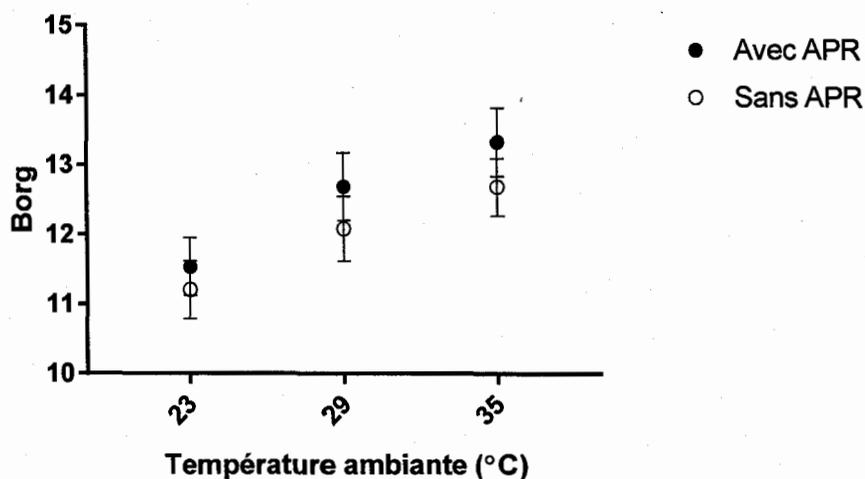


Figure 5.4 La cote de perception de l'effort moyenne pour les différentes conditions de température ambiante et de port d'APR (* $p < 0,05$).

Tableau 5.4 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour la cote de perception de l'effort selon l'effet de la température ambiante et de l'APR.

Sources de variation	
Effet température	< 0,0338*
Effet APR	< 0,0001*
Interaction	0,2833

* $p < 0,05$

5.4 Effets de la température ambiante et du port d'un APR sur la température de l'air à l'intérieur de l'APR

La figure 5.5 présente la température de l'air inspiré ainsi que les écarts types, selon les différentes conditions évaluées de température ambiante et de port d'APR. Il est à noter que la température a été échantillonnée à l'intérieur de l'APR pour les conditions avec APR et à 30 cm devant le sujet pour les conditions sans APR. L'analyse Anova à deux facteurs à mesures répétées a permis de déceler une différence significative pour les facteurs température ($p < 0,0001$) et APR ($p < 0,0001$) ainsi qu'une interaction entre ces deux facteurs ($p < 0,0001$). On peut voir que pour les conditions à 23 °C et à 29 °C la température à l'intérieur de l'APR est supérieure à la température ambiante, alors qu'à 35 °C, la température à l'intérieur de l'APR est inférieure à la température ambiante.

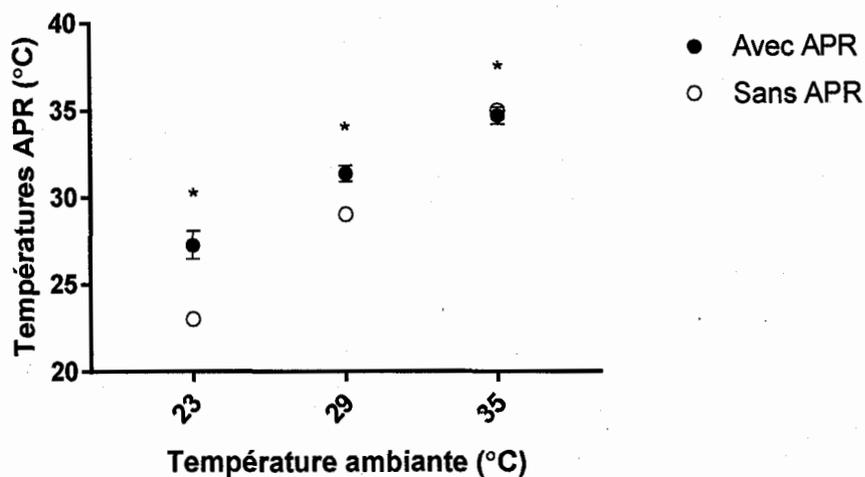


Figure 5.5 La température moyenne de l'air inspiré pour les différentes conditions de température ambiante et de port d'APR (* $p < 0.05$).

Tableau 5.5 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour les valeurs de température de l'air inspiré selon l'effet de la température ambiante de l'APR.

Sources de variation	
Effet température	< 0,0001*
Effet APR	< 0,0001*
Interaction	< 0,0001*

* $p < 0.05$

5.5 Effets de la température ambiante et du port d'un APR sur la température interne

La figure 5.6 présente la température interne des sujets ainsi que les écarts types, selon les différentes conditions évaluées et l'intensité de l'effort. L'analyse Anova à deux facteurs à mesures répétées n'a pas permis de déceler de différence significative pour le facteur APR à 23 °C ($p = 0,1728$), 29 °C ($p = 0,1337$) et 35 °C ($p = 0,0772$), mais a décelé une différence pour le facteur intensité à 23 °C ($p = 0,0016$), 29 °C ($p < 0,0001$) et 35 °C ($p < 0,0001$). La tendance semble démontrer que la température interne augmente linéairement avec l'intensité de l'effort physique et que le port d'un APR n'a pas eu d'effet.

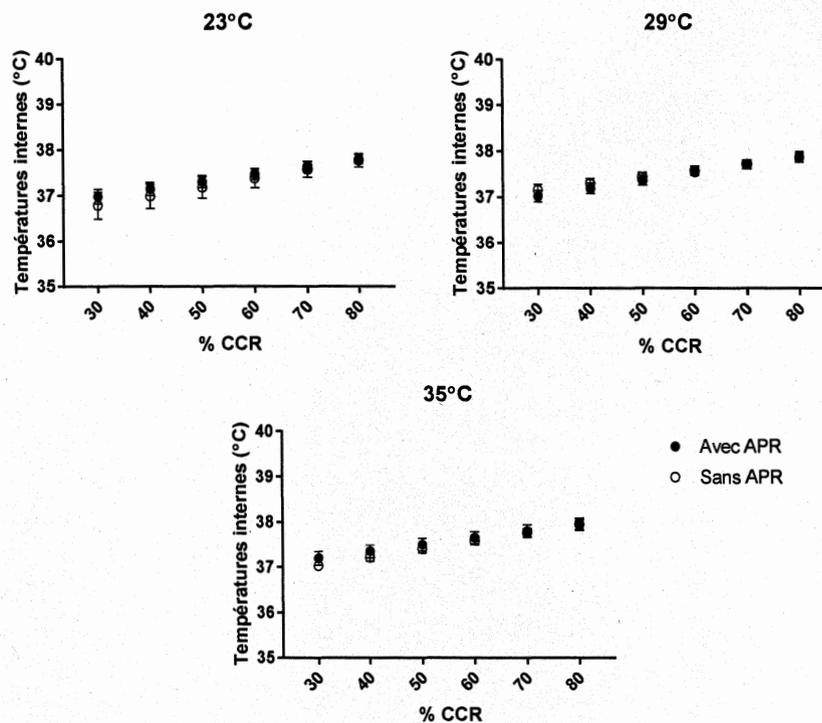


Figure 5.6 La température interne pour les différentes conditions de port d'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C (* $p < 0.05$).

Tableau 5.6 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour les valeurs de température interne selon l'effet de l'intensité et de l'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C.

	23 °C	29 °C	35 °C
Effet intensité	0,0016*	< 0,0001*	< 0,0001*
Effet APR	0,1728	0,1337	0,0772
Interaction	0,9906	0,6348	0,9228

* $p < 0.05$

5.6 Effets de la température ambiante et du port d'un APR sur la concentration O₂ à l'intérieur de l'APR

La figure 5.7 présente les concentrations moyennes en O₂ mesurées à l'intérieur de l'APR ainsi que les écarts types pour les conditions avec APR puis dans l'air ambiant pour les conditions sans APR. L'analyse Anova à deux facteurs à mesures répétées a permis de déceler une différence significative pour le facteur APR ($p < 0,0001$), alors que le facteur température n'a pas eu d'effet ($p = 0,2117$). La concentration moyenne en O₂ mesurée à l'intérieur de l'APR était de 17,44 % alors que l'air mesuré à l'intérieur de la chambre climatique était à 20,54 % lors des tests.

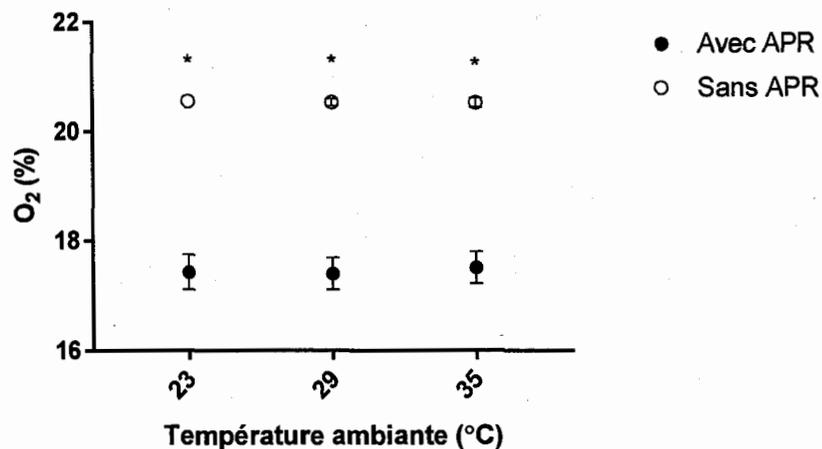


Figure 5.7 Les concentrations moyennes en O₂ à l'intérieur de l'APR et dans l'air ambiant selon les conditions de température ambiante et de port d'APR (* $p < 0,05$).

Tableau 5.7 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour les valeurs de concentrations en O₂ selon l'effet de la température ambiante et de l'APR.

Sources de variation	
Effet température	0,2117
Effet APR	< 0,0001*
Interaction	0,1447

* $p < 0,05$

5.7 Effets de la température ambiante et du port d'un APR sur l'oxymétrie cérébrale (rSO₂) relative

La figure 5.8 présente la variation de la rSO₂ relative des sujets ainsi que les écarts types, selon les différentes conditions évaluées et l'intensité de l'effort. L'analyse Anova à deux facteurs à mesures répétées a permis de déceler une différence significative pour le facteur APR à 23 °C ($p = 0,0011$) et pour le facteur intensité à 29 °C ($p = 0,0097$) et 35 °C ($p = 0,0205$).

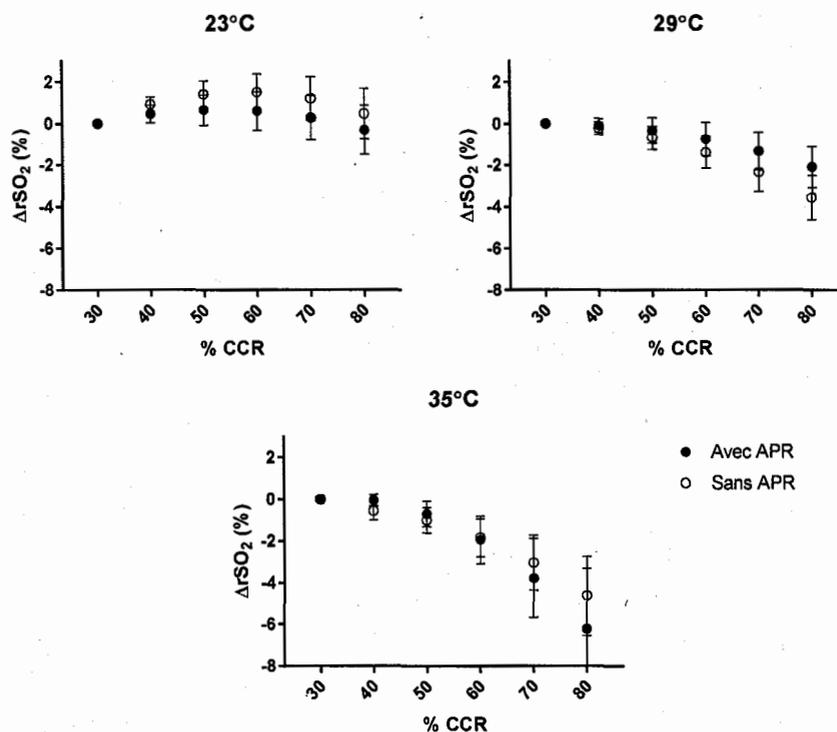


Figure 5.8 L'oxymétrie cérébrale relative pour les différentes conditions de port d'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C (* $p < 0.05$).

Tableau 5.8 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour les valeurs d'oxymétrie cérébrale relative selon l'effet de l'intensité et de l'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C.

	23 °C	29 °C	35 °C
Effet intensité	0,8826	0,0097	0,0205
Effet APR	0,0011	0,0633	0,5321
Interaction	0,6692	0,7591	0,7301

* $p < 0.05$

5.8 Effets de la température ambiante et du port d'un APR sur la concentration en CO₂ à l'intérieur de l'APR

La figure 5.9 présente les concentrations moyennes en CO₂ mesurées à l'intérieur de l'APR pour les conditions avec APR et dans l'air ambiant ainsi que les écarts types pour les conditions sans APR. L'analyse Anova à deux facteurs à mesures répétées a permis de déceler une différence significative pour le facteur APR ($p < 0,0001$), alors que le facteur température n'a pas eu d'effet ($p = 0,4758$). La concentration moyenne en CO₂ mesurée à l'intérieur de l'APR était de 2,87 % alors que l'air mesuré à l'intérieur de la chambre climatique était à 0,11 % lors des tests.

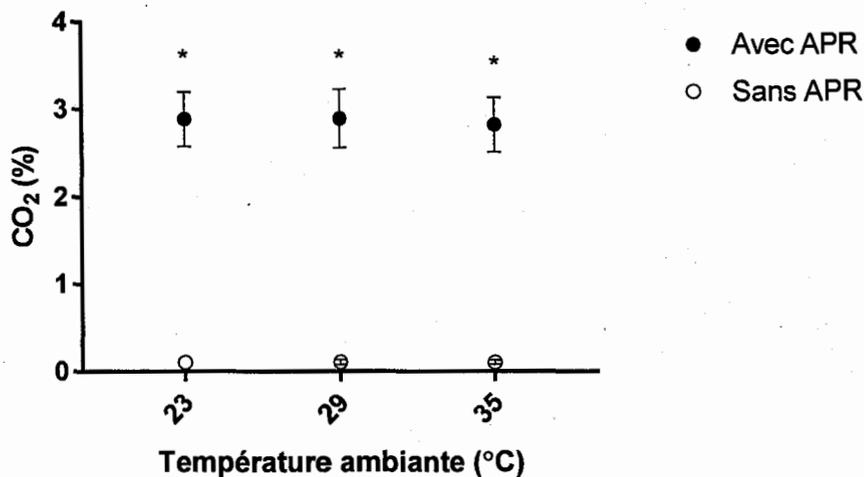


Figure 5.9 Les concentrations moyennes en CO₂ à l'intérieur de l'APR et dans l'air ambiant selon les conditions de température ambiante et de port d'APR (*p<0.05).

Tableau 5.9 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour les valeurs de concentrations en CO₂ selon l'effet de la température ambiante et de l'APR.

Sources de variation	
Effet température	0,4758
Effet APR	< 0,0001*
Interaction	0,4483

* p < 0.05

5.9 Effets de la température ambiante et du port d'un APR sur la pression télé-expiratoire (EtCO₂)

La figure 5.10 présente la pression télé-expiratoire expiratoire en CO₂ moyenne des sujets ainsi que les écarts types, selon les conditions réalisées avec et sans APR. L'analyse Anova à deux facteurs à mesures répétées a permis de déceler une différence significative uniquement pour le facteur APR (p < 0,0001).

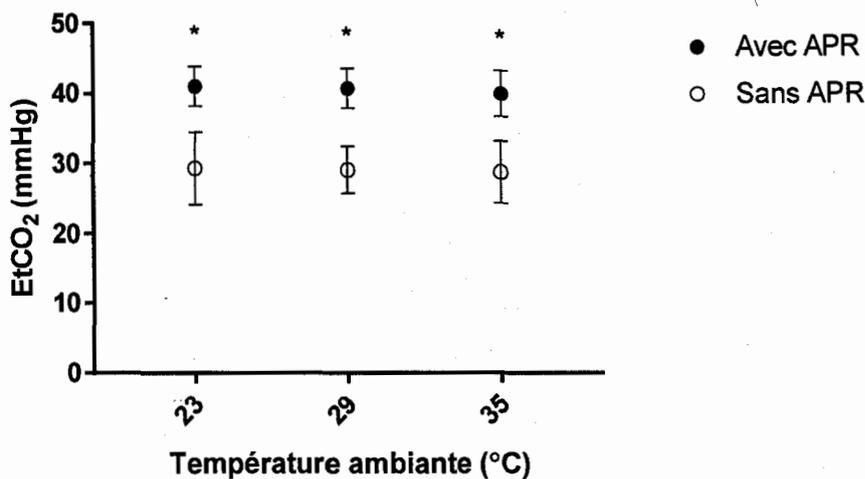


Figure 5.10 La pression télé-expiratoire en CO₂ moyenne pour les différentes conditions de température ambiante et de port d'APR (*p<0.05).

Tableau 5.10 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour les valeurs de pression télé-expiratoire en CO₂ selon l'effet de la température ambiante et de l'APR.

Sources de variation	
Effet température	0,4897
Effet APR	< 0,0001*
Interaction	0,6946

* p < 0.05

5.10 Effets de la température ambiante et du port d'un APR sur le temps de réaction (tâche de Hick)

La figure 5.11 présente le temps de réaction moyen des sujets ainsi que les écarts types, selon les différentes conditions évaluées et l'intensité de l'effort. L'analyse Anova à deux facteurs à mesures répétées n'a pas permis de déceler de différence significative pour les facteurs APR (23 °C (p = 0,6026), 29 °C (p = 0,0580) et 35 °C (p = 0,6950) et intensité (23 °C (p = 0,9998)), 29 °C (p = 0,9980) et 35 °C (p = 0,9901)). L'analyse par

comparaisons multiples n'a également pas permis de déceler de différences significatives entre les conditions réalisées avec et sans APR.

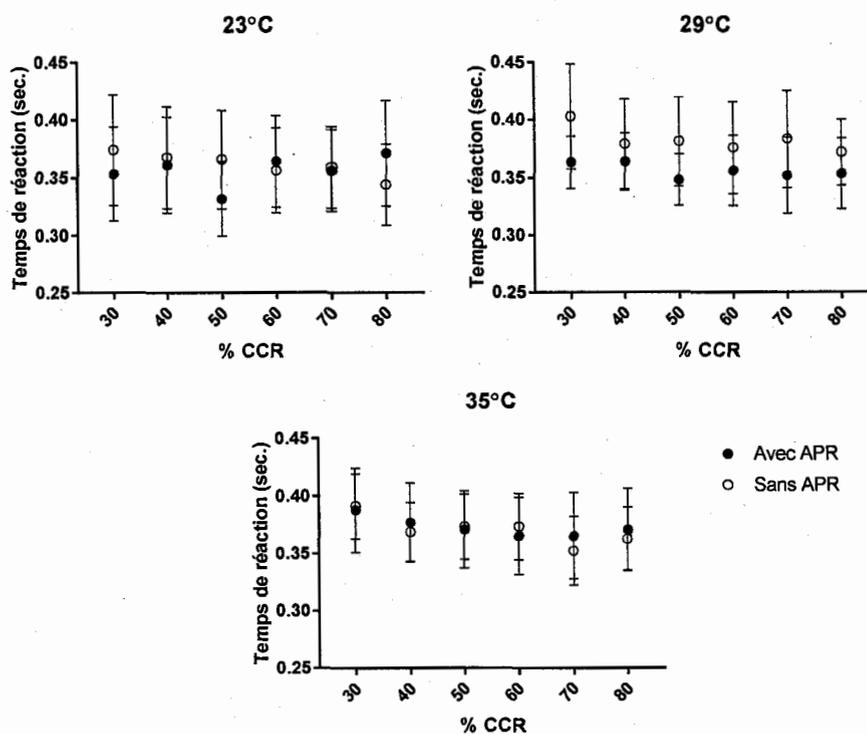


Figure 5.11 Temps de réaction moyen pour les différentes conditions de port d'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C (* $p < 0.05$).

Tableau 5.11 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour les valeurs de temps de réaction selon l'effet de l'intensité et de l'APR à 23 °C, 29 °C et 35 °C.

	23 °C	29 °C	35 °C
Effet intensité	0,9998	0,9980	0,9901
Effet APR	0,6026	0,0580	0,6950
Interaction	0,4780	0,9606	0,9276

* $p < 0.05$

5.11 Effets de la température ambiante et du port d'un APR sur le temps de mouvement (tâche de Fitts)

La figure 5.12 présente le temps de mouvement moyen ainsi que les écarts types, pour les différentes conditions port d'APR réalisée avant (pré) et après (post) l'effort physique. L'analyse Anova à deux facteurs à mesures répétées n'a pas permis de déceler de différence significative pour le facteur effort ($p = 0,9073$) et le facteur APR ($p = 0,0795$). L'analyse par comparaisons multiples a permis de déceler une différence significative entre les conditions avec et sans APR pour les essais pré ($q = 0,0055$). Le port d'un APR a réduit la performance de 0,02 seconde, soit $0,6125 \pm 0,0293$ seconde avec APR et $0,5943 \pm 0,0039$ seconde sans APR.

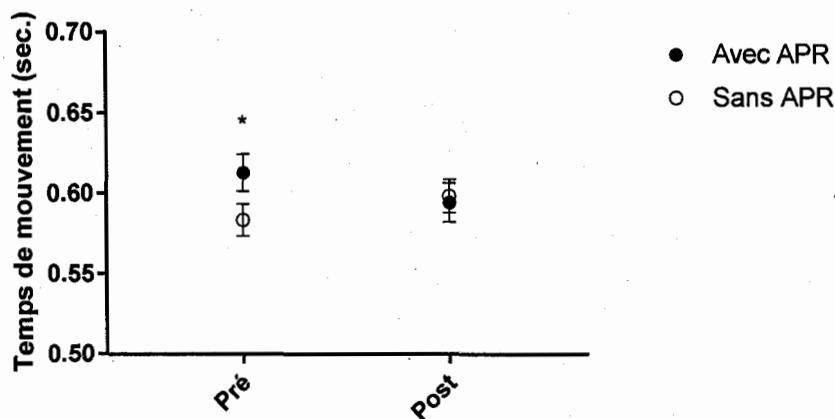


Figure 5.12 Le temps de mouvement moyen pour les différentes conditions du port d'APR réalisée avant (pré) et après (post) l'effort physique (* $p < 0,05$).

Tableau 5.12 Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour les valeurs de temps de mouvement selon l'effet de l'intensité et de l'APR.

Sources de variation	
Effet effort	0,9073
Effet APR	0,0795
Interaction	0,0228*

* $p < 0,05$

CHAPITRE VI

DISCUSSION

L'objectif de cette étude était d'évaluer les contraintes physiologiques associées au port d'un APR de type P100 selon l'effort demandé et la température ambiante. Pour ce faire, huit sujets masculins ont réalisé des tests d'efforts progressifs sur un tapis roulant dans une chambre à environnement contrôlé. Différentes conditions de température ambiante (23°, 29° et 35 °C dans un environnement où l'humidité relative est constante à 50 %) ont été évaluées avec et sans le port d'un APR lors des tests. Plusieurs variables ont été mesurées : les fréquences cardiaques et respiratoires, la perception de l'effort, la température de l'air inspiré, la température interne, la concentration en O₂ à l'intérieur de l'APR, la saturation en oxygène cérébrale, la concentration de CO₂ à l'intérieur de l'APR, la pression télé-expiratoire, le temps de réaction, ainsi que le temps de mouvement entre deux cibles.

6.1 Effets de la température ambiante et du port d'un APR sur les fréquences cardiaques, fréquences respiratoires et la perception de l'effort

L'hypothèse de départ était que les fréquences cardiaques et les fréquences respiratoires seraient supérieures lors des conditions réalisées avec un APR dû au micro-environnement créé par l'APR. Selon Wilmore et al. (2009), une augmentation de ces variables physiologiques permettrait de démontrer une augmentation de l'effort physique pour la réalisation d'une même tâche. De plus, une augmentation de ces variables permettrait d'expliquer de manière objective, pourquoi le port d'un APR augmente la perception de l'effort lorsqu'une tâche avec un effort physique est réalisée.

Les résultats de cette étude n'ont cependant pas permis de démontrer que le port d'un APR avait un effet sur les fréquences cardiaques à 23 °C, 29 °C et 35 °C. Les résultats sont en accord avec l'étude de Roberge et al. (2010 b), qui n'a pas permis de démontrer que le port du masque augmentait de façon significative la fréquence cardiaque des participants lorsque l'effort physique est modéré et que la température ambiante est normale ($\cong 23$ °C).

Les résultats démontrent que l'APR avait un effet sur la fréquence respiratoire pour les conditions à 23 °C et 35 °C. Pour la condition à 29 °C, l'intensité de l'effort semble avoir limité les effets observés (figure 3). La fréquence respiratoire augmente linéairement avec l'intensité de l'effort pour les conditions avec APR, alors qu'elle demeure relativement stable pour les conditions sans APR. Plus spécifiquement, on observe une différence significative entre les conditions avec et sans APR lorsque l'effort physique dépasse 70%CCR à 23 °C et 35 °C. Un effet du port d'un APR sur la fréquence respiratoire avait également été observé par Kim et al. (2013) alors que les participants marchaient pendant 1 h.

L'augmentation de la fréquence respiratoire et du volume courant sont les deux paramètres physiologiques qui influencent la ventilation pulmonaire. Malheureusement, il était impossible de mesurer le volume courant lors des conditions avec APR sans affecter la résistance à l'inspiration et à l'expiration ainsi que le poids de l'APR. Par contre, l'augmentation de la fréquence respiratoire semble avoir été une stratégie employée par les participants pour compenser l'espace mort de l'APR et permettre une ventilation pulmonaire adéquate.

Il existe une forte corrélation entre la perception de l'effort et la fréquence cardiaque (Borg 1982). Les résultats de notre étude démontrent que le port d'un APR augmente la perception de l'effort lors d'un test à intensité physique progressif. Par contre, l'APR

n'a pas eu d'effet sur la fréquence cardiaque, mais semble avoir affecté la fréquence respiratoire. Ainsi, l'augmentation de la perception de l'effort semble davantage causée par un inconfort au niveau respiratoire.

De plus, les résultats démontrent que la température ambiante et l'APR ont augmenté la perception de l'effort (figure 5) sans toutefois avoir d'interaction entre ces deux facteurs. Ainsi, les résultats démontrent que l'APR a eu un effet additif à la température ambiante pour augmenter la perception de l'effort.

6.2 Effets de la température ambiante et du port d'un APR sur la température de l'air inspiré et la température interne

L'une des raisons les plus fréquemment citées pour expliquer l'inutilisation des APR chez les travailleurs est l'inconfort lié à l'accumulation de chaleur au visage (Radonovich et al., 2009; Baig et al., 2010). Cette accumulation de chaleur au visage augmente la température de l'air inspiré et pourrait affecter le processus de thermorégulation par convection respiratoire.

Les résultats démontrent que la température à l'intérieur de l'APR est supérieure à la température ambiante à 23 °C et 29 °C. Ces résultats valident l'hypothèse que la température de l'air inspiré est supérieure lorsqu'on porte un APR. À l'inverse, à 35 °C, la température à l'intérieur de l'APR est inférieure à la température ambiante. Dans des conditions de température ambiante normale (23 °C et 29 °C), le processus de thermorégulation par convection respiratoire permet d'évacuer la chaleur par l'air expiré. Au contraire, lorsque la température ambiante est chaude (à 35 °C), l'organisme absorbe de la chaleur par la respiration.

Par contre, les résultats n'ont pas permis de démontrer que le port d'un APR augmente la température interne. L'intensité d'exercice semble avoir eu un effet beaucoup plus important sur cette variable. Le temps relativement court où l'APR est porté durant les tests à l'effort pourrait également limiter les effets observés.

6.3 Effets de la température ambiante et du port d'un APR sur la concentration en O₂ à l'intérieur de l'APR et la rSO₂ relative

Roberge et al. (2010a) ont mesuré les concentrations en O₂ à l'intérieur d'un APR de type N95. Ils ont mesuré des concentrations moyennes de 16,7 % d'O₂ à l'intérieur de l'APR. La même méthode a donc été utilisée afin d'échantillonner les concentrations de gaz contenues dans l'APR. Il est à noter que cette méthode donne les concentrations moyennes en O₂ pour l'inspiration et l'expiration. Lors d'un cycle respiratoire (inspiration/expiration), la concentration en O₂ dans l'APR varie de manière sinusoïdale. Lors de l'inspiration, les valeurs d'O₂ augmentent et rechutent lors de l'expiration. Les valeurs moyennes à l'intérieur du micro-environnement lors de l'inspiration et lors de l'expiration sont donc très similaires. Pour cette raison, il est possible que les valeurs mesurées soient représentatives des concentrations lors de l'inspiration.

Les concentrations moyennes en O₂ à l'intérieur de l'APR et dans l'air ambiant étaient respectivement de 17,51 et 20,52 %. Ces résultats démontrent que le port d'un APR affecte les concentrations en oxygène respirées. Les recommandations de l'OSHA (Occupational Safety and Health Administration) envers les concentrations en O₂ dans l'air ambiant sont fixées à 19,5 % et plus. Quoique ces recommandations visent l'air ambiant d'un espace clos de travail et non le micro-environnement d'un APR, il n'en demeure pas moins que l'air inspiré serait déficiente en O₂. Une exposition prolongée

à des concentrations d'O₂ inférieures à 19,5 % peut causer une faiblesse, de la fatigue et des maux de tête (OSHA). Toutefois, il est important de considérer que cette norme s'applique sur un quart de travail de 8h et dans un espace clos et non au micro-environnement d'un APR. À l'intérieur de l'APR, la concentration en O₂ varie pendant les phases de la respiration alors qu'elle est stable dans un espace clos.

À 23 °C, on observe une augmentation de la rSO₂ relative jusqu'à 50 % du CCR comme le prédit le modèle de Perrey et al. (2010). Pour cette condition de température, l'APR semble avoir réduit la saturation de l'hémoglobine en oxygène sans toutefois tomber sous la valeur de repos. Pour les conditions à 29 °C et 35 °C, l'APR n'a pas eu d'effet. La température ambiante semble avoir eu un effet beaucoup plus important sur cette variable.

6.4 Effets de la température ambiante et du port d'un APR sur la concentration de CO₂ à l'intérieur de l'APR et la pression télé-expiratoire

Lors du port prolongé du masque, l'espace mort plus important favorise l'augmentation de la concentration de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'espace des voies respiratoires. Le CO₂ serait à nouveau inhalé par l'utilisateur et pourrait conduire à une réponse physiologique d'hyperventilation (Jouannique 1993).

Les concentrations en CO₂ à l'intérieur de l'APR et dans l'air ambiant étaient respectivement de 2,87 et 0,11 %. Les recommandations de l'OSHA envers les concentrations en CO₂ dans l'air ambiant sont fixées à 0,5 % et moins pour un quart de travail de 8 h. De même que pour les concentrations en O₂ discutées précédemment, ces recommandations visent l'air ambiant d'un espace clos de travail et non le micro-environnement d'un APR. Selon l'OSHA, une exposition prolongée à des

concentrations de CO₂ supérieures à 0,5 % peut causer des maux de tête ou des pertes de conscience. L'étude de Babb (1997) a observé des difficultés d'accommodation respiratoire chez des sujets âgés (68±2 ans) lors d'un effort physique dans un environnement à 3 % en CO₂. Un recensement mené par l'INRS révèle que les valeurs de concentrations en CO₂ pour lesquelles des effets physiologiques ont été observés ne sont pas constantes dans la littérature scientifique, variant entre 3 et 8 % (Louis, Guez et al. 1999). Ainsi, le seuil de concentration en CO₂ à ne pas dépasser ne semble pas bien défini. De plus, il est important de considérer que ces seuils établis pour le travail en espace clos ne s'appliquent pas au micro-environnement d'un APR.

La mesure de l'EtCO₂ permet de valider que les concentrations de CO₂ dans l'air inspiré affectent les concentrations à l'intérieure des voies respiratoires. En effet, les résultats démontrent que la pression maximale en CO₂ lors de l'expiration est 25 % supérieure avec le port d'un APR. Kim et al. (2013) avaient observé une augmentation significative du taux de CO₂ transcutané variant entre 1,7 et 3,0 mmHg, qui serait causée par le port d'un APR. Comme les résultats démontrent que les concentrations en CO₂ sont supérieures dans les alvéoles, les échanges gazeux peuvent être réduits due au gradient de concentration plus faible entre le sang et les alvéoles.

La mesure de l'EtCO₂ demeure toutefois une mesure exploratoire. Les valeurs normales se situent entre 35 et 45 mmHg, soit très similaire aux résultats obtenus avec le port d'un APR alors que les résultats sans APR présentent des valeurs qui sont inférieures avec une moyenne de 29,03 mmHg.

6.5 Effets de la température ambiante et du port d'un APR sur les tâches perceptivo-motrices

Un des objectifs était de déterminer à partir de quel niveau d'effort l'oxygénation cérébrale serait affectée, et si le port de l'APR affectait celle-ci. Ces résultats auraient permis d'expliquer les effets de l'APR sur le traitement de l'information et la prise de décision.

Les résultats n'ont pas permis de démontrer que l'APR avait eu d'effet sur le temps de réaction. Il semble que la difficulté de la tâche choisie pourrait avoir limité les observations. Une tâche de temps stimuli-réponses à quatre choix semble être trop simple pour observer les effets de l'APR chez les participants. Un test plus complexe comme « Eriksen flanker task » aurait été plus propice pour observer une diminution de la performance causée par le port d'un APR (McMorris and Hale 2012, Schmit, Davranche et al. 2015). AlGhamri et al. (2013) ont démontré que le port d'un APR augmentait significativement le taux d'erreur lors de la réalisation d'un test cognitif, sans avoir d'effet sur le temps nécessaire pour accomplir la tâche. Dans cette étude, le taux d'erreur n'a pas été évalué due à un problème technique avec le montage utilisé pour mesurer le temps de réaction.

Les résultats de la tâche de temps de mouvement ont permis de démontrer que l'APR avait eu un effet sur la coordination motrice lors des essais réalisés avant l'effort physique. Cette tâche fait référence à la loi de Fitts qui met en relation la précision et la vitesse. Plus spécifiquement, si on augmente la précision nécessaire à la réalisation de la tâche, la vitesse sera réduite. Comme l'APR réduit le champ de vision (Wu, Harber et al. 2011), la précision requise pour réaliser la tâche est augmentée alors que la vitesse diminue.

CHAPITRE VII

CONCLUSION

L'objectif de cette étude était de quantifier objectivement les contraintes physiologiques associées au port d'APR de type P100 selon l'importance de l'effort physique et de la température ambiante. Tel que discuté dans les deux sections précédentes, les analyses statistiques ont démontré que le port d'un APR augmentait les fréquences respiratoires, la pression télé-expiratoire et la perception de l'effort. Ces effets sont attribuables au micro-environnement créé par l'APR, qui affecte la température ainsi que les concentrations en O₂ et en CO₂ de l'air respirable. Le port d'un APR n'a pas eu d'effet significatif sur les fréquences cardiaques, la température interne, l'oxymétrie cérébrale et le temps de réaction.

Cette étude a permis de valider un protocole expérimental portant sur l'évaluation des effets physiologiques d'un APR de type P100. Le port d'un APR semble avoir un effet additif à la température ambiante et produire davantage d'inconfort. Ainsi, lors de l'évaluation des contraintes thermiques en milieu de travail (Éditeur officiel du Québec, 2013) ou du niveau de risque de subir un coup de chaleur (CNESST, 2018), la température pourrait être corrigée à la hausse lorsque le travailleur doit porter un APR lors de ses tâches. Pour l'ensemble des sujets évalués dans cette étude, le port d'un APR semble bien toléré lors d'un effort progressif de 30 à 80 % CCR.

Les résultats de cette étude démontrent l'importance de la recherche dans le domaine de la protection respiratoire à des fins préventives et dans la conception d'APR. Afin de s'assurer que les travailleurs portent les APR de manière adéquate, il semble important de considérer certaines caractéristiques telles que le volume mort ainsi que la souplesse des matériaux utilisés afin d'augmenter le confort. D'autres recherches

seront nécessaires afin d'établir un seuil de contraintes thermiques lorsqu'un APR est porté. Il serait également intéressant de comparer différents modèles d'APR ainsi que différentes cartouches pour vérifier si les contraintes physiques sont les mêmes. La résistance respiratoire des cartouches selon leur niveau de saturation semble également une perspective intéressante.

ANNEXE A

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT (VOLET 1)

TITRE DU PROJET

Contraintes physiologiques et physiques associées au port d'un appareil de protection respiratoire de type P100 selon l'intensité du travail physique et les conditions ambiantes.

PRÉAMBULE :

Vous êtes invité(e) à participer à un projet de recherche qui vise à identifier les facteurs qui causent des inconforts lors du port d'appareil de protection respiratoire (APR). Avant d'accepter de participer à ce projet, il est important de prendre le temps de lire et de bien comprendre les renseignements ci-dessous. S'il y a des mots ou des sections que vous ne comprenez pas, n'hésitez pas à poser des questions.

IDENTIFICATION :

Chercheur(e) responsable du projet : Denis Marchand

Tél. : (514) 987-3000 poste 0217

Département des sciences de l'activité physique

Adresse postale : 141, Avenue du Président Kennedy

Montréal, Québec, Canada, H2X 1Y4

Adresse courriel : marchand.denis@uqam.ca

Membre(s) de l'équipe : Chantal Gauvin (IRSST) Ludovic Tuduri (IRSST)

Samuel Charbonneau-Rousseau (UQAM), Igor Zovile (UQAM)

OBJECTIFS DU PROJET ET FINANCEMENT

Ce projet devrait permettre de démontrer que le port d'APR peut augmenter les contraintes physiologiques liées au processus de la thermorégulation lorsqu'un effort physique soutenu est requis pour réaliser une tâche. Elle permettra d'identifier et de comprendre les inconforts ressentis chez les utilisateurs lorsque la charge physique et la température ambiante sont élevées.

Cette étude est financée par l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST)

PROCÉDURE(S) OU TÂCHES DEMANDÉES AU PARTICIPANT

Votre participation à cette étude comporte sept périodes d'évaluation et l'horaire sera établi à l'avance à la suite d'une attente entre le participant et l'évaluateur. La journée des tests, vous devrez respecter les consignes suivantes :

- Ne pas faire d'exercices soutenus 24 heures avant l'évaluation;
- Ne pas prendre de repas 2 heures avant l'évaluation;
- Ne pas prendre de drogue ou stimulant (caféine) 12 heures avant l'évaluation;
- Faire la liste de la nourriture ingérée 12 heures avant l'évaluation;
- Boire 1 litre d'eau 2 heures avant le test et un autre 500 ml 30 minutes avant le test;
- Porter la même tenue sportive (short, T-shirt et espadrilles de course) lors des tests.

Vous devrez dans un premier temps, réussir un essai d'ajustement avec chacun des APR sélectionnés pour l'étude. Par la suite, vous allez réaliser un test de marche sous-maximal (85 % de votre fréquence cardiaque maximale) sur tapis roulant et avoir un résultat se situant entre 40 et 65 ml/kg/min pour participer à l'étude. Les autres périodes d'évaluation en laboratoire dépendent du volet à laquelle vous participerez. Pour ces trois volets, vous allez devoir réaliser un effort progressif sur tapis roulant d'une durée de 30 minutes. La pente du tapis roulant sera ajustée toutes les cinq minutes de façon à obtenir cinq paliers allant de 30 % à 80 % de votre coût cardiaque relatif (CCR).

En participant, vous devrez réaliser six tests avec une humidité relative à 50 % dans les conditions suivantes :

1. Température de 23 °C sans APR
2. Température de 29 °C sans APR
3. Température de 35 °C sans APR
4. Température de 23 °C avec APR
5. Température de 29 °C avec APR
6. Température de 35 °C avec APR

Vous aurez un repos minimal de trois jours entre les conditions. Les évaluations seront réalisées dans la chambre à environnement contrôlé de l'UQAM. Plusieurs variables physiologiques seront mesurées : la capacité cardio-respiratoire maximale (VO_2 max), la concentration de CO_2 et la température à l'intérieur de l'APR, la saturation en oxygène cérébrale, la température interne du corps ainsi que la fréquence cardiaque et

respiratoire. Tous les appareils utilisés pour les différentes mesures physiologiques sont sécuritaires et approuvés. Des échelles de perception psychophysique seront utilisées pour évaluer le confort associé aux différentes conditions étudiées. Des tâches perceptivo-motrices simples seront réalisées avant, pendant et après les tests sur le tapis roulant. Vos tests d'efforts sur tapis roulant seront filmés.

Chronologie des événements pour les trois volets en laboratoire;

Test d'ajustement de l'APR (5 min)

Instrumentation avec les appareils de mesures physiologiques (30 min)

Réalisation du test perceptivo-moteur (5 min)

Réalisation du test d'efforts progressifs (30 min)

Réalisation du test perceptivo-moteur (5 min)

Phase récupération en position debout avec hydratation (15 min)

Enlèvement de l'instrumentation (15 min)

Remerciements

AVANTAGES ET RISQUES POTENTIELS :

En tant qu'étudiant en kinésiologie de l'UQAM vous vivrez une expérience de recherche appliquée à la recherche en santé et sécurité au travail. Vous pourrez constater l'application des différentes notions de physiologie qui sont abordées dans votre programme de formation au baccalauréat.

Le port des appareils de protection respiratoire peut devenir légèrement inconfortable et la chaleur ambiante peut accentuer votre sudation lors des tests. Vous recevrez la consigne de cesser immédiatement l'effort cardio-respiratoire si un inconfort est présent lors de tests d'estimation de la VO₂ max et lors des différents tests de marche sur tapis roulant. Le test en cours sera interrompu et il sera repris un autre jour uniquement si vous donnez votre accord. La mesure constante de la fréquence cardiaque permettra aussi d'avoir une mesure objective de votre état cardio-respiratoire. Si votre malaise persiste après l'arrêt du test, le service du 911 sera contacté par l'évaluateur responsable pour assurer votre transport vers une expertise médicale.

Le port prolongé de l'appareil de protection respiratoire peut causer des marques sur votre visage qui devraient disparaître en quelques heures après la fin de votre test.

ANONYMAT ET CONFIDENTIALITÉ :

Toutes les données recueillies sont confidentielles et uniquement des données moyennées serviront à la production d'un rapport de recherche. L'identification des personnes évaluées sera gardée confidentielle grâce à des transcriptions codées. Les données brutes seront conservées par les responsables des évaluations de l'UQAM. Seules les personnes responsables du projet auront accès aux fichiers informatiques des sujets et aux enregistrements vidéo. Les enregistrements vidéo et vos données seront gardés sous clé dans un classeur. Toutes les données seront détruites après la publication du rapport. Dans le cas où les images publiées dans le rapport vous impliqueraient, une permission écrite vous sera demandée avant sa publication. Vous serez libre d'accepter et de refuser l'utilisation de votre photo.

PARTICIPATION VOLONTAIRE et DROIT DE RETRAIT :

Votre participation à ce projet est volontaire. Cela signifie que vous acceptez de participer au projet sans aucune contrainte ou pression extérieure, et que par ailleurs vous êtes libre de mettre fin à votre participation en tout temps au cours de cette recherche, sans préjudice de quelque nature que ce soit et sans avoir à vous justifier. Dans ce cas, et à moins d'une directive contraire de votre part, les documents vous concernant seront détruits.

Votre accord à participer implique également que vous acceptez que l'équipe de recherche puisse utiliser aux fins de la présente recherche (articles, mémoires et thèses des étudiants membres de l'équipe, conférences et communications scientifiques) les renseignements recueillis à la condition qu'aucune information permettant de vous identifier ne soit divulguée publiquement à moins d'un consentement explicite de votre part.

COMPENSATION FINANCIÈRE

Il est entendu que vous recevrez une somme qui correspondra à votre salaire prévu par la convention du SETUE (16 \$/heure) pour les 18 heures réalisées au laboratoire à titre de compensation pour les frais encourus par votre contribution au projet.

CLAUSE DE RESPONSABILITÉ :

En acceptant de participer à ce projet, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez les chercheurs, le commanditaire ou les institutions impliquées de leurs obligations légales et professionnelles.

PERSONNES-RESSOURCES :

Vous pouvez contacter le responsable du projet au numéro (514) 987-3000 poste 0217 pour des questions additionnelles sur le projet. Vous pouvez discuter avec lui des conditions dans lesquelles se déroule votre participation.

Le Comité institutionnel d'éthique de la recherche avec des êtres humains (CIEREH) approuve ce projet et en assure le suivi. Pour toute information vous pouvez communiquer avec la coordonnatrice du Comité au numéro 987- 3000 poste 7753 ou par courriel à l'adresse : ciereh@uqam.ca.

Pour toute question concernant vos droits en tant que participant à ce projet de recherche ou si vous avez des plaintes à formuler, vous pouvez communiquer avec le bureau de l'ombudsman de l'UQAM (Courriel : ombudsman@uqam.ca; Téléphone : (514) 987-3151).

REMERCIEMENTS :

Votre collaboration est importante à la réalisation de notre projet et l'équipe de recherche tient à vous en remercier. Si vous souhaitez obtenir un résumé écrit des principaux résultats de cette recherche, veuillez ajouter vos coordonnées ci-dessous.

SIGNATURES :

Par la présente :

- a) je reconnais avoir lu le présent formulaire d'information et de consentement;
- b) je consens volontairement à participer au volet ____ du projet de recherche;
- c) je comprends les objectifs du projet et ce que ma participation implique;
- d) je confirme avoir disposé de suffisamment de temps pour réfléchir à ma décision de participer;
- e) je reconnais aussi que le responsable du projet (ou son délégué) a répondu à mes questions de manière satisfaisante; et
- f) je comprends que ma participation à cette recherche est totalement volontaire et que je peux y mettre fin en tout temps, sans pénalité d'aucune forme ni justification à donner.

Signature du participant :

Date :

Nom (lettres moulées) et coordonnées :

Je, soussigné, déclare :

- a) avoir expliqué le but, la nature, les avantages, les risques du projet et autres dispositions du formulaire d'information et de consentement;**
et
- b) avoir répondu au meilleur de ma connaissance aux questions posées.**

Signature du chercheur responsable du projet ou de son, sa délégué(e) :

Nom (lettres moulées) et coordonnées :

Date :

ANNEXE B

QAAP

Questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique - Q-AAP (version révisée en 2002)

Q-AAP et VOUS

(Un questionnaire pour les gens de 15 à 69 ans)

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 sportive n'entraîne pas de risques de santé majeurs. Dans certains cas, il est cependant conseillé de passer un examen médical avant d'entreprendre un programme régulier d'activités physiques. Le Q-AAP (questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique) 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(e), commencez par répondre aux 7 questions qui suivent. Si vous êtes âgé(e) de 15 à 69 ans, le Q-AAP vous indique si vous devez ou non consulter un médecin avant d'entreprendre votre nouveau programme d'activités. 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.

OUI	NON	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1. Votre médecin vous a-t-il déjà dit que vous souffriez d'un problème cardiaque et que vous ne deviez pas participer qu'aux activités physiques prescrites et approuvées par un médecin?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2. Ressentez-vous une douleur à la poitrine lorsque vous faites de l'activité physique?
<input type="checkbox"/>	<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?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4. Éprouvez-vous des problèmes d'équilibre reliés à un étourdissement ou vous arrive-t-il de perdre connaissance?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5. Avez-vous des problèmes osseux ou articulaires (par exemple, au dos, au genou ou à la hanche) qui pourraient s'aggraver par une modification de votre niveau de participation à une activité physique?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6. Des médicaments vous sont-ils actuellement prescrits pour contrôler votre tension artérielle ou un problème cardiaque (par exemple, des diurétiques)?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7. Connaissez-vous une autre raison pour laquelle vous ne devriez pas faire de l'activité physique?

Si vous

avez

répondu

OUI à une ou plusieurs questions

Consultez votre médecin AVANT d'augmenter votre niveau de participation à une activité physique et AVANT de faire évaluer votre condition physique. Dites à votre médecin que vous avez complété le questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique et expliquez-lui précisément à quelles questions vous avez répondu «OUI».

Il se peut que vous n'ayez aucune contre-indication à l'activité physique dans la mesure où vous y allez lentement et progressivement. Par ailleurs, il est possible que vous ne puissiez faire que certains types d'efforts adaptés à votre état de santé. Indiquez à votre médecin le type d'activité physique que vous comptez faire et suivez ses recommandations.

Informez-vous quand aux programmes d'activités spécialisés les mieux adaptés à vos besoins, offerts dans votre localité.

NON à toutes ces questions

Si, en toute honnêteté, vous avez répondu «NON» à toutes les questions du Q-AAP, vous êtes dans une certaine mesure, assuré(e) que :

• vous pouvez augmenter votre pratique régulière d'activités physiques en commençant lentement et en augmentant progressivement l'intensité des activités pratiquées. C'est le moyen le plus simple et le plus sécuritaire d'y arriver.

• vous pouvez faire évaluer votre condition physique. C'est le meilleur moyen de connaître votre niveau de condition physique de base afin de mieux planifier votre participation à un programme d'activités physiques.

REMETTRE À PLUS TARD L'AUGMENTATION DE VOTRE PARTICIPATION ACTIVE :

- si vous souffrez présentement de fièvre, d'une grippe ou d'une autre affection passagère, attendez d'être remis(e); ou
- si vous êtes enceinte ou croyez l'être, consultez votre médecin avant de modifier votre niveau de pratique sportive régulière.

Veillez noter que si votre état de santé se trouve modifié de sorte que vous deviez répondre «OUI» à l'une ou l'autre des questions précédentes, consultez un professionnel de la santé ou de la condition physique, afin de déterminer s'il vous faut modifier votre programme d'activités.

Formulaire de consentement du Q-AAP La Société canadienne de physiologie de l'exercice, Santé Canada et ses représentants n'assument aucune responsabilité vis-à-vis des accidents qui pourraient survenir lors de l'activité physique. Si, après avoir complété le questionnaire ci-dessus, un doute persiste quant à votre aptitude à faire une activité physique, consultez votre médecin avant de vous y engager.

Toute modification est interdite. Nous vous encourageons à copier le Q-AAP dans sa totalité.

Dans la mesure où le Q-AAP est administré avant que la personne ne s'engage dans un programme d'activités ou qu'elle fasse évaluer sa condition physique, la section suivante constitue un document ayant une valeur légale et administrative.

Je sous-signé(e) affirme avoir lu, compris et complété le questionnaire et avoir reçu une réponse satisfaisante à chacune de mes questions.

NOM _____

SIGNATURE _____

DATE _____

SIGNATURE D'UN PARENT
de TUTEUR (pour les mineurs) _____

TÉMOIN _____

N.B. - Cette autorisation de faire de l'activité physique est valide pour une période maximale de 12 mois à compter du moment où le questionnaire est rempli. Elle n'est plus valide si votre état de santé change de telle sorte que vous répondiez «OUI» à l'une des sept questions.



Société canadienne de physiologie de l'exercice www.csep.ca/forms

ANNEXE C

PROCÉDURE DE TEST

PROCÉDURE PROJET P100 (VOLET 1)

PARTICIPANT : _____.

CONDITION : _____.

HEURE : _____.

DATE : _____.

À FAIRE AVANT L'ARRIVÉE DU SUJET

1. Activer la corepill.
2. Partir la chambre climatique.
3. Sortir et brancher les ordinateurs pour Moxus, DasyLab et Equivital et le système Polar.
 - 3.1. DasyLab
 - 3.1.1. Démarrer le logiciel.
 - 3.1.2. Brancher le convertisseur dans le port USB.
 - 3.1.3. Ouvrir la feuille d'acquisition amasques.DSB.
 - 3.1.4. Brancher les BNC dans les bons canaux (Ordre : CO2, O2, Synchro, Température et Fitts).
 - 3.2. Moxus
 - 3.2.1. Démarrer la flow pump et le convertisseur (15 min avant la calibration)
 - 3.2.2. Démarrer le logiciel.
 - 3.2.3. Brancher le convertisseur dans le port USB de l'ordinateur de droite
 - 3.2.4. Calibrer les analyseurs O2 et CO2.
 - 3.3. Equivital
 - 3.3.1. Brancher l'antenne, la clé et le SEM dans les ports USB.
 - 3.3.2. Démarrer le logiciel.
 - 3.3.3. S'assurer que le SEM Equivital est chargé et qu'il capte la Corepill.
 - 3.4. Biopac
 - 3.4.1. Brancher le fil bleu du biopac dans l'ordinateur.
 - 3.4.2. Ouvrir la feuille d'acquisition.

3.5. Polar

3.5.1. Entrer les paramètres du sujet dans la montre polar.

4. Préparer l'APR et mettre les filtres (Percer les trous pour sonde de température, Moxus et LifeSense) ou le tube de capnométrie.
5. S'assurer que l'heure des différents appareils est synchronisée (Dasylab, Equivital, SPIR et Polar).
6. Brancher l'alimentation pour les tâches perceptivo-motrices.

INSTRUMENTATION DU SUJET

1. Faire avaler la Corepill au sujet dès à l'arriver (45 min avant de commencer les tests).
2. Faire boire 500 ml d'eau au sujet 15 min avant le début du test.
3. Faire ajuster l'APR au sujet afin d'être confortable et de réussir le test de pression négative.
4. Mettre le cardio-fréquencemètre polar.
5. Mettre la veste Equivitale.
6. Mettre le harnais de sécurité.
7. Mettre l'APR.
8. Brancher le capteur Biopac à la sonde de température.
9. Apposer le capteur SPIR sur le lobe frontal gauche et le headband.

DÉMARRER L'ACQUISITION

1. Démarrer le tapis.
2. Dasylab.
 - 2.1. Nommer les fichiers selon le sujet, la condition et la date (ex. S123degAPR181117).
 - 2.2. Démarrer l'acquisition.
 - 2.3. S'assurer que les signaux sont OK.
3. Equivital.
 - 3.1. S'assurer que la température interne est captée par le SEM.
 - 3.2. Débrancher le SEM et l'éteindre (clignote 3x orange et une fois rouge).
 - 3.3. Brancher le SEM dans la ceinture Equivital.
4. Polar.
 - 4.1. S'assurer que la FC est bien captée par la montre.
 - 4.2. Placer la montre RS400 au poignet du sujet.
 - 4.3. Appuyer une fois sur le bouton rouge pour capter la FC et appuyer une seconde fois pour démarrer l'acquisition. Noter l'heure. _____
5. Faire entrer le sujet dans la salle climatique.

- 5.1. Brancher la sonde de température
- 5.2. Brancher les tubes des analyseurs Moxus et de la capnographie Nonin.
- 5.3. Brancher le capteur SPIR dans son port.
- 5.4. Effectuer le test des lumières de la tâche de temps de réaction.
- 5.5. Effectuer le test de Fitts (3 essais de 15sec.)
6. Nonin SPIR.
 - 6.1. Démarrer l'appareil et s'assurer que le signal est bien capté.
7. Nonin Capnométrie
 - 7.1. Démarrer l'appareil et appuyer sur la synchro lorsque le signal sonore se fait entendre. Noter l'heure sur dasylab. _____
 - 7.2. S'assurer que le signal est bien capté.
8. Démarrer l'enregistrement vidéo pour la tâche de temps de réaction.
9. Démarrer l'acquisition Biopac simultanément avec l'échauffement.

ACQUISITION

1. Le sujet doit rester 5 min dans la chambre climatique avant de commencer l'échauffement (étape 5 de la section précédente).
2. Échauffement de 5 min à 5 km/h avec 0 % de pente (non comptabilisé dans les données).
3. Démarrer le test en montant la vitesse à 6 km/h et en ajustant la pente (la pente doit être ajustée au début du nouveau palier).

Palier	Pente
1	
2	
3	
4	
5	
6	

4. Effectuer le test de temps de réaction après la deuxième minute de chaque palier.
5. Demander la difficulté sur l'échelle de Borg.

Palier	Borg
1	
2	
3	
4	
5	
6	

6. Appuyer sur la synchro à la fin de chaque palier.
7. Retour au calme.
 - 7.1. Diminuer la pente à 0 %.
 - 7.2. Diminuer la vitesse à 3 km/h pendant 3 min.
 - 7.3. Arrêter le tapis.
 - 7.4. Débrancher le sujet et le faire sortir de la chambre climatique.
 - 7.5. Arrêter l'acquisition du SenSmart, LifeSense et Dasylab
 - 7.6. S'assurer que le sujet s'hydrate.
 - 7.7. Maintenir en observation jusqu'au retour à la normale de la FC et de la température interne.
 - 7.8. Arrêter l'acquisition Équivital et Polar.

EXTRACTION DES DONNÉES

1. Transférer le data de Équivital dans Équivital Manager.
2. Transférer le data de Dasylab (fichier asci et DDF).
3. Transférer le data de LifeSense avec la clé VGA.
4. Transférer le data de Sensmart par Bluetooth.
5. Transférer le data de Polar avec Polar ProTrainer 5.

ANNEXE D

RÉSULTATS DES ANALYSES STATISTIQUES

Résultats des analyses statistiques Anova à deux facteurs avec mesures répétées pour les différentes variables selon l'effet de l'intensité de l'effort et de l'APR aux températures ambiante de 23°C, 29°C et 35°C, puis selon l'effet de la température ambiante et de l'APR (intensité de l'effort moyennée) (* p<0.05)

Variable	Source de variation (effet du facteur)	Valeur p			Source de variation (facteur)	Valeur p
		23°C	29°C	35°C		
Perception de l'effort (Borg)	Intensité effort	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	Température	<0,0338*
	APR	0,0034*	0,0007*	0,0001*	APR	<0,0001*
	Interaction	0,7657	0,5933	0,0054*	Interaction	0,2833
Fréquence cardiaque (FC)	Intensité effort	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	Température	0,0012*
	APR	0,1766	0,1454	0,0723	APR	0,0610
	Interaction	>0,9999	>0,9999	>0,9999	Interaction	0,0984
Température interne (core)	Intensité effort	0,0016*	<0,0001*	<0,0001*	Température	0,0855
	APR	0,1728	0,1337	0,0772	APR	0,1168
	Interaction	0,9906	0,6348	0,9228	Interaction	0,0847
Concentration O ₂	Intensité effort	>0,9999	0,9947	0,6245	Température	0,2117
	APR	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	APR	<0,0001*
	Interaction	0,9222	0,7368	0,2630	Interaction	0,1447
Concentration CO ₂	Intensité effort	0,5763	0,8211	0,9580	Température	0,4758
	APR	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	APR	<0,0001*
	Interaction	0,9721	0,9985	>0,9999	Interaction	0,4483
Fréquence respiratoire (FR)	Intensité effort	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	Température	0,2045
	APR	0,0034*	0,0007*	0,0001*	APR	0,0047*
	Interaction	0,7657	0,5933	0,0054*	Interaction	0,0103
Pression télé-expiratoire en CO ₂ (EtCO ₂)	Intensité effort	0,5251	0,0072*	0,1447	Température	0,4897
	APR	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	APR	<0,0001*
	Interaction	0,1719	0,0009*	0,8526	Interaction	0,6946
Oxymétrie rSO ₂	Intensité effort	0,8826	0,0097*	0,0205*	Température	<0,0001*
	APR	0,0011*	0,0633	0,5321	APR	0,5886
	Interaction	0,6692	0,7591	0,7301	Interaction	0,0191
Température air inspirée à l'intérieur de l'APR	Intensité effort	0,9998	0,9766	0,9432	Température	<0,0001*
	APR	<0,0001*	<0,0001*	0,0004*	APR	<0,0001*
	Interaction	0,9998	0,9766	0,9432	Interaction	<0,0001*
Temps de mouvement	Intensité effort	0,7921	0,6339	0,7455	Température	0,9073
	APR	0,8440	0,0803	0,3708	APR	0,0795
	Interaction	0,0290*	0,4475	0,1694	Interaction	0,0228*
Temps de réaction	Intensité effort	0,9998	0,9980	0,9901	Température	
	APR	0,6026	0,0580	0,6950	APR	
	Interaction	0,4780	0,9276	0,9276	Interaction	

ANNEXE E

CERTIFICAT D'ÉTHIQUE

UQÀM
Université de Québec à Montréal

CIEREH
Comité institutionnel d'éthique de la
recherche avec des êtres humains

No du certificat : 2015_e_938

CERTIFICAT D'ÉTHIQUE

Le Comité institutionnel d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'UQAM, a examiné le protocole de recherche suivant et jugé conforme aux pratiques habituelles et répond aux normes établies par la Politique no 54 sur l'éthique de la recherche avec des êtres humains (décembre 2015).

Protocole de recherche

Chercheur(e) principal(e) : Denis Marchand

Unité de rattachement : Département des sciences de l'activité physique

Équipe de recherche :

Co-chercheur(s) externes : Chantal Gauvin et Ludovic Tuduri (IRSST)

Étudiant(s) réalisant leurs projets de mémoire ou de thèse (incluant les thèses de spécialisation) dans le cadre du présent protocole de recherche : Samuel Charbonneau (maîtrise en kinanthropologie)

Titre du protocole de recherche : *Contraintes physiologiques et physiques associées au port d'un appareil de protection respiratoire de type P100 selon l'intensité du travail physique et les conditions ambiantes*

Organisme de financement (le cas échéant): IRSST (2015-2017)

Modalités d'application

Le présent certificat est valide pour le projet tel que soumis au CIEREH. Les modifications importantes pouvant être apportées au protocole de recherche en cours de réalisation doivent être communiquées au comité¹.

Tout événement ou renseignement pouvant affecter l'intégrité ou l'éthicité de la recherche doit être communiqué au comité.

Toute suspension ou cessation du protocole (temporaire ou définitive) doit être communiquée au comité dans les meilleurs délais.

Le présent certificat d'éthique est valide jusqu'au 14 mars 2017. Selon les normes de l'Université en vigueur, un suivi annuel est minimalement exigé pour maintenir la validité de la présente approbation éthique. Le rapport d'avancement de projet (renouvellement annuel ou fin de projet) est requis pour le 14 février 2017. Vous recevrez automatiquement un premier courriel de rappel trois mois avant la date d'échéance du certificat.

Éric Dion, Ph.D.
Professeur
Président

14 mars 2016

Date d'émission initiale du certificat

¹ Modifications apportées aux objectifs du projet et à ses étapes de réalisation, au choix des groupes de participants et à la façon de les recruter et aux modalités de consentement. Les modifications incluent les risques de préjudices non-prévus pour les participants, les précautions mises en place pour les minimiser, les changements au niveau de la protection accordée aux participants en termes d'anonymat et de confidentialité ainsi que les changements au niveau de l'équipe (ajout ou retrait de membres).

ANNEXE F

ÉVALUATION PSYCHOPHYSIQUE DE L'EFFORT

L'échelle utilisée lors de ces tests était l'échelle de Borg 6-20. Cette échelle est principalement utilisée dans les situations où les astreintes physiques ressenties par les sujets sont principalement associées à l'augmentation de la fréquence cardio-respiratoire. L'échelle 6-20 correspond au fait que chez les jeunes adultes, la fréquence cardiaque varie généralement de 60 à 200 battements par minute. C'est la plage possible entre l'état de repos et la fréquence cardiaque maximale.

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	

Représentation des niveaux d'effort utilisés pour mesurer la perception psychophysique des participants selon l'échelle de Borg 6-20

BIBLIOGRAPHIE

ACSM – American College of Sport Medicine (2013). ACSM's Guidelines for Exercise testing and prescription. 9e édition. Lippincott Williams et Wilkins, USA.

AlGhamri, A.A., Murray, S.L., Samaranayake, V.A. (2013). The effects of wearing respirators on human fine motor, visual, and cognitive performance. *Ergonomics* 56 (5) : 791-802.

Ando, S., Kokubu, M., Yamada, Y., Kimura, M. (2011). Does cerebral oxygenation affect cognitive function during exercise? *Eur J Appl Physiol* 111:1973–1982.

ASP-Construction (2013). La protection respiratoire, c'est bien plus que de porter un appareil de protection respiratoire. Bulletin d'information *Prévenir aussi*, Vol. 28, No. 1, printemps 2013.

Baig, A.S, Knapp, C., Eagan, A.E. (2010). Health care workers' views about respirator use and features that should be included in the next generation of respirators. *Am J Infect Control*, 38 : 18–25.

Babb, T. G. (1997). Ventilation and respiratory mechanics during exercise in younger subjects breathing CO₂ or HeO₂. *Respiration physiology*, 109(1), 15-28. Beaudry, C., Dion,

Borg, G. A. (1982). "Psychophysical bases of perceived exertion." *Med sci sports exerc* 14(5) : 377-381.

C., Gérin, M., Perrault, G., Bégin, D., Lavoué, J. (2013). Exposition des travailleurs de la construction à la silice cristalline – Bilan et analyse de la littérature (version corrigée). Rapport R-692. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Montréal, QC.

CAN/CSA-Z94.4-F11 - Choix, utilisation et entretien des appareils de protection respiratoire. (2011).

CNESST (2018) Travailler à la chaleur... Attention!, 3^e édition, Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail, disponible sur : <https://www.cnesst.gouv.qc.ca/Publications/100/Documents/DC100-1125web.pdf>

CNESST (2016) Plan d'action construction 2017, Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail, disponible sur : <http://www.cnesst.gouv.qc.ca/Publications/900/Documents/DC900-9119web.pdf>

CSST (2008) Guide de prévention des coups de chaleur, 2e édition, Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, disponible sur : http://www.csst.qc.ca/publications/200/Documents/DC200_16184.pdf

CSST (2010). Répartition des décès inscrits et acceptés en relation avec la silice selon le secteur d'activité économique et l'année d'inscription du décès (1995-2009), Direction de la comptabilité et de la gestion de l'information, Service de la statistique. CSST, Montréal, QC.

CSST (2015) Plan d'action construction, Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, disponible sur : http://www.csst.qc.ca/publications/900/Documents/DC900_9119web.pdf

Éditeur officiel du Québec. (2013). Règlement sur la santé et la sécurité du travail. Loi sur la santé et la sécurité du travail, 885-2001, À jour 1^{er} avril 2018, disponible sur : <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/pdf/cr/S-2.1,%20R.%2013.pdf>

Effective target tolerance in an inverted Fitts task. *Ergonomics*, 38, 828-836.

Fabre, C., et al. (1994). "Réponses cardiorespiratoires à l'exercice chez des cyclistes très entraînés : effets du vieillissement." *Science & Sports* 9(4) : 215-220

Flanagan, M.E., Seixas, N., Becker, P., Takacs, B., Camp, J. (2006). Silica Exposure on Construction Sites: Results of an Exposure Monitoring Data Compilation Project. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 3, n° 3, p. 144-152.

Forest, J., Tremblay, C. (2007). Bilan de l'étude environnementale de l'exposition au quartz chez certains travailleurs du secteur BTP. Direction de santé publique, Agence de la santé et des services sociaux de Montréal, Montréal, QC.

Fitts, P.M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47 (6) : 381-391.

Gronfier, C. (2009). "Physiologie de l'horloge circadienne endogène : des gènes horloges aux applications cliniques." *Médecine du Sommeil* 6(1) : 3-11. Hoffmann, E.R. (1995).

Hamaoka, T., et al. (2011). "The use of muscle near-infrared spectroscopy in sport, health and medical sciences: recent developments." *Phil. Trans. R. Soc. A* 369(1955) : 4591-4604.

Holmér, I., Kuklane, K., Gao, C. (2007). Minute volumes and inspiratory flow rates during exhaustive treadmill walking using respirators. *Ann Occup Hyg*, Apr 15,51(3):327-35.

Hyman, R. (1953). Stimulus information as a determinant of reaction time. *Journal of Experimental Psychology* 45 (3) : 188–96.

Jouannique, V., Hure, P., et Falcy, M. (1993). Les appareils de protection respiratoire. Document pour le médecin du travail, 56. INRS.

Kim, J.H., Benson, S.M. et Roberge, R.J. (2013). Pulmonary and heart rate responses to wearing N95 filtering facepiece respirators. *Am. J. Infect. Control* Jan, 41(1):24-27.

Kreeger, R. N., Ramamoorthy, C., Nicolson, S. C., Ames, W. A., Hirsch, R., Peng, L. F., ... & Kurth, C. D. (2012). Evaluation of pediatric near-infrared cerebral oximeter for cardiac disease. *The Annals of thoracic surgery*, 94(5), 1527-1533.

Lepretre, P.-M., et al. (2004). "Effect of Exercise Intensity on Relationship between $\dot{V}O_2$ and Cardiac Output." *Medicine and Science in Sports and Exercise* 36: 1357-1363.

Lobbestael, A., et al. (2012). "Development and Validation of a Cerebral Oximeter Capable of Absolute Accuracy." *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia* 26(6) : 1007-1014.

Locatelli, S.M., LaVela, S.L., Gosch, M. (2014). Health care workers' reported discomfort while wearing filtering face-piece respirators. *Workplace Health Saf.* Sep,62(9):362-8.

Louhevaara, V. (1984). Physical effects associated with the use of respiratory protective devices. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*. 10, 1 : 275-281.

Louhevaara, V., et al. (1984). "Cardiorespiratory effects of respiratory protective devices during exercise in well-trained men." *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 52(3) : 340-345.

Louis, F., et al. (1999). "Intoxication par inhalation de dioxyde de carbone." *Institut nationale de recherche et de sécurité INRS, Dossier médico-technique N79TC74* : 179-194.

Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec (2011). Rapport des maladies et intoxications d'origine chimique déclarées au Québec de 2005 à 2010. Direction de la protection de la santé publique, Ministère de la Santé et des Services sociaux, Québec, QC.

McArdle, W., Katch, F. et Katch, V. (2001). *Physiologie de l'activité physique : énergie, nutrition et performance*. Maloine/Edisem. 4e éd. Paris. P.711

McMorris, T. and B. J. Hale (2012). "Differential effects of differing intensities of acute exercise on speed and accuracy of cognition: A meta-analytical investigation." *Brain and Cognition* 80(3) : 338-351.

Miyai, I., et al. (2001). "Cortical Mapping of Gait in Humans: A Near-Infrared Spectroscopic Topography Study." *NeuroImage* 14(5) : 1186-1192.

NIOSH (2001). *Health Effects of Occupational Exposure to Respirable Crystalline Silica*, DHHS (NIOSH) Publication No. 2020-129, National Institute of Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH.

NIOSH (2011). *Asbestos Fibers and Other Elongate Mineral Particles: State of the Science and Roadmap for Research*, DHHS (NIOSH) Publication No. 2011-159, National Institute of Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Standard Number 1910.134; 1910.134(d)(2)(i)(A); 1910.134(d)(2)(i)(B); 1910.134(d)(2)(iii)

Oussaidene, K., Prieur, F., Bougault, V., Borel, B., Matran, R., Mucci, P. (2013). Cerebral oxygenation during hyperoxia-induced increase in exercise tolerance for untrained men. *Eur J Appl Physiol* 113:2047–2056.

Perrey, S. (2010). L'oxygénation cérébrale mesurée par spectroscopie dans le proche infrarouge comme témoin des ajustements de la commande motrice centrale. *Science & Motricité*, (70), 55-60.

Peters, C., Demers, P., Nicol, A.-M., Chow, Y., Lang, B., Hall, A., Poplawski, K., Ge, C. (2010). *Carex Canada Workplace Exposure Surveillance Report - Occupational exposure to selected priority carcinogens in Québec*. Carex Canada, School of Environmental Health, University of British Columbia, Vancouver, BC.

Radonovich, L., Cheng, J., Hodgson, M., Shenal, B., Bender, B. (2009). Respirator Tolerance in Healthcare Workers and Implications for Pandemic Influenza. *JAMA*. January (301).

Rappaport, S.M., Goldberg, M., Susi, P., Herrick, R.F. (2003). Excessive Exposure to Silica in the US Construction Industry. *Annals of Occupational Hygiene*, vol. 47, n° 2, p. 111-122.

Robergs, R.A. and R. Landwehr (2002). "The surprising history of the" HRmax = 220-age" equation." *Journal of Exercise Physiology Online* 5(2) : 1-10.

Roberge, R.J., Coca, A., Williams, W.J., Palmiero, A.J. et Powell, J.B. (2010a). Surgical mask placement over N95 filtering facepiece respirators: physiological effects on healthcare workers. *Respirology* Apr, 15(3):516-521.

Roberge, R.J., Coca, A., Williams, W.J., Powell, J.B. et Palmiero, A.J. (2010 b). Physiological impact of the N95 filtering facepiece respirator on healthcare workers. *Respir. Care* May, 55(5):569-577.

Sabourin G. (2012). Dossier : Silice cristalline – La poussière invisible qu'on a à l'œil ! Prévention au travail, Hiver 2012-2013, disponible sur : http://www.csst.qc.ca/prevention/magazine/2012/hiver_2012-2013/dossier/Pages/dossier-silice-cristalline.aspx

Sauvé, J.-F., Beaudry, C., Bégin, D., Dion, C., Gérin, M., Lavoué, J. (2013). Exposition des travailleurs de la construction à la silice cristalline – Exploitation d'une banque de données tirée de la littérature. Rapport R-772. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Montréal, QC.

Scherrer, J. (1981). Précis de physiologie du travail notions d'ergonomie. Masson, Paris. 585 p.

Schmit, C., et al. (2015). "Pushing to the limits: The dynamics of cognitive control during exhausting exercise." *Neuropsychologia* 68 : 71-81.

Sköldström, B. (1987). Physiological responses of fire fighters to workload and thermal stress. *Ergonomics*, 30, p. 1589-1597.

Suggs, C. and W. Splinter (1961). "Some physiological responses of man to workload and environment." *Journal of Applied Physiology* 16(3) : 413-420.

Suzuki, M., et al. (2004). "Prefrontal and premotor cortices are involved in adapting walking and running speed on the treadmill: an optical imaging study." *NeuroImage* 23(3) : 1020-1026.

Tjoe Nij, E., de Meer, G., Smit, J., Heederik, D. (2003). Lung Function Decrease in Relation to Pneumoconiosis and Exposure to Quartz-Containing Dust in Construction Workers. *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 43, n° 6, p. 574-583.

Williams, W.J. (2010). Physiological response to alterations in O2 and CO2: relevance to respiratory protective devices. *J. Int. Soc. Respir. Prot.* Jan, 27(1):27-51.

Wilmore, J.H. et Costill, D.L. (2009). Physiologie du sport et de l'exercice. 4e édition. DeBoeck Université, Paris, 540 pages.

Wu, S., Harber, P., Yun, D., Bansal, S., Li, Y., Santiago, S. (2011). Anxiety During Respirator Use: Comparison of Two Respirator Types Journal of Occupational and Environmental Hygiene 8 (3) : 123-128.

Yazdanian,k. (2013). Chronobiologie et performances sportives, Université Toulouse III.