

Études et recherches

RAPPORT R-580



L'autosurveillance de l'astreinte thermique des jeunes travailleurs affectés à l'engrangement du foin

*Pierre C. Dessureault
Audrey Tellier*



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

NOS RECHERCHES

Mission *travaillent pour vous !*

Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.

Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

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

Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour.

De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement.
www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine Prévention au travail, publié conjointement par l'Institut et la CSST.
Abonnement : 1-877-221-7046

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales
2008

ISBN : 978-2-89631-302-0 (version imprimée)

ISBN : 978-2-89631-303-7 (PDF)

ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
octobre 2008



Études et recherches



RAPPORT R-580

L'autosurveillance de l'astreinte thermique des jeunes travailleurs affectés à l'engrangement du foin

Avis de non-responsabilité

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

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

Pierre C. Dessureault, Ph.D. et Audrey Tellier, ing.

*École d'ingénierie,
Université du Québec à Trois-Rivières*

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



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

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSS

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

SOMMAIRE

Ce rapport fait état d'une étude visant le développement d'un programme d'autosurveillance de l'astreinte thermique pour des adolescents qui oeuvrent à l'engrangement du foin. Ce type de travail avait été choisi parce qu'il implique une charge de travail physique importante et qu'il emploie des jeunes âgés entre 15 et 21 ans. Au cours des étés 2004, 2005 et 2006, quarante sujets ont été l'objet de monitoring. Certains sujets étaient suivis plus d'une fois durant une saison et sept d'entre eux ont participé durant chacune des saisons 2005 et 2006. En tout, 85 quarts de travail ont été l'objet d'un monitoring qui comprenait trois domaines, à savoir d'abord un enregistrement de la fréquence cardiaque par périodes de 5 secondes, puis la lecture de la température sub-linguale au début et à la fin du quart de travail et enfin un suivi de la masse corporelle, des boissons bues, des repas et des mictions. Les limites physiologiques recommandées par différents organismes ou prescrites par différentes normes ont servi de repère dans l'analyse de chacun de ces trois domaines. Certaines limites concernant la fréquence cardiaque ont été ajustées pour tenir compte de l'âge des sujets.

Les sujets ayant participé à la saison 2005 ont tous été rencontrés individuellement durant la saison hivernale pour discuter de leurs données et des mesures à prendre pour autosurveiller leur niveau d'astreinte thermique. Sept de ces sujets sont revenus lors de la saison 2006.

Tel qu'attendu, la fréquence cardiaque a atteint les limites plus précocement que les pertes hydriques ou que la température sub-linguale à une seule exception près. Le niveau d'astreinte cardiaque est parfois très sévère et les dépassements concernent autant la fréquence cardiaque moyenne sur tout le quart de travail, que la valeur plafond, ou encore que les valeurs moyennes sur des fenêtres de temps variant entre 5 et 90 minutes. La quasi-totalité des cas de dépassements de limites cardiaques incluait la fréquence moyenne sur tout le quart. Cette limite était fixée à 120 battements par minute.

Les lectures de température sub-linguales ont franchi la limite de 37.5 °C en quatre occasions. Cette valeur correspond à la température profonde de 38 °C que vise la réglementation québécoise sans en faire mention spécifiquement. Cependant, la température sub-linguale n'a jamais dépassé 38 °C, valeur qui correspond à la température profonde de 38.5 °C proposée par l'ACGIH dans une interprétation plus moderne de l'indice WBGT.

Les pertes hydriques ont atteint la limite de 5 % recommandée par ISO à quatre reprises malgré des durées de travail de 5h20 et moins. Cependant, le déficit hydrique (pertes moins la réhydratation) a été très limité. Le fait de rendre accessible facilement des breuvages variés et appréciés par les sujets explique le haut niveau de réhydratation observé. Le niveau de perte hydrique n'a jamais atteint le second palier de la norme ISO situé à 7.5 %.

Les sujets qui avaient été informés des modes d'autosurveillance ont montré, en 2006, un niveau d'astreinte cardiaque moins sévère que l'année précédente. Le trop grand nombre de variables ne permet pas de valider statistiquement cette observation.

Le document conclue que la surveillance de l'astreinte thermique de jeunes travailleurs affectés à l'engrangement du foin peut se limiter au monitoring de la fréquence cardiaque lorsque des

breuvages indiqués sont disponibles et qu'aucune pression n'est exercée sur les jeunes travailleurs. L'indicateur à privilégier est la simple fréquence cardiaque moyenne sur tout le quart de travail qui ne devrait pas dépasser 120 battements par minute. La lecture de cet indicateur nécessite à toutes fins utiles un cardiotachymètre puisque plusieurs sujets ne pouvaient pas prendre leur pouls avec certitude. Aussi, de tels instruments permettent de suivre la fréquence cardiaque en continue et de s'assurer qu'elle ne dépasse pas 90 % de la fréquence cardiaque maximale, ce qui ajoute à la sûreté du programme. Des cardiotachymètre sont maintenant offerts à moins de 20 dollars.

Table des matières

SOMMAIRE	i
Table des matières	iii
1. INTRODUCTION	1
2. PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS	2
2.1 Problématique	2
2.2 Objectifs de l'étude	3
3. ÉTAT DES CONNAISSANCES	5
3.1 Contrainte thermique	5
3.2 Astreinte thermique	5
3.2.1 La fréquence cardiaque	5
<i>Méthode de Brouha et la composante thermique de la fréquence cardiaque</i>	6
<i>Fréquence cardiaque plafond</i>	7
« <i>Moving-Time Average</i> » (MTA)	7
3.2.2 Température corporelle	9
3.2.3 Pertes hydriques	10
3.3 Contrainte thermique, astreinte thermique et l'âge	11
3.4 Contrainte thermique, astreinte thermique et l'agriculture	12
4. MÉTHODOLOGIE	13
4.1 Extrapolation des MTA limites pour des sujets de 12 à 20 ans	13
4.2 Observations sur les fermes	13
4.2.1 La difficile collaboration des producteurs agricoles	13
4.2.2 Sujets et tâche	14
4.2.3 Instructions données aux sujets	15
4.2.4 Lecture des paramètres de la contrainte thermique	16
4.2.5 Enregistrement des paramètres de l'astreinte thermique	16
<i>Fréquence cardiaque au repos</i>	17
<i>Fréquence cardiaque moyenne</i>	17
<i>Fréquence cardiaque plafond</i>	17
« <i>Moving-Time Average</i> » : calcul à partir de l'enregistrement	17
<i>Méthode de Brouha et composante thermique de la fréquence cardiaque</i>	17
<i>Température sub-linguale</i>	17
<i>Masse des sujets</i>	17
4.2.6 Déroulement de la journée	18
4.2.7 Programme d'autosurveillance	18

5. RÉSULTATS	20
5.1 Sujets	20
5.2 Ambiance thermique	22
5.3 Astreinte thermique	23
5.3.1 Fréquence cardiaque	23
5.3.2 Température sub-linguale	26
5.3.3 Pertes hydriques	28
6. DISCUSSION	29
6.1 Contrainte thermique	29
6.2 Astreinte thermique	30
6.2.1 Fréquence cardiaque	30
<i>Fréquence cardiaque au repos</i>	30
<i>Fréquence cardiaque moyenne</i>	31
<i>Fréquence cardiaque plafond</i>	32
« <i>Moving-Time Average</i> »	33
<i>Méthode de Brouha et la composante thermique de la fréquence cardiaque</i>	33
6.2.2 Température sub-linguale	34
6.2.3 Pertes sudorales	34
6.3 Autosurveillance	35
6.4 Surveillance médicale prévue par la réglementation	37
7. RECOMMANDATIONS	39
7.1 Aux producteurs agricoles	39
7.2 À la communauté de chercheurs	39
8. CONCLUSION	40
9. APPLICABILITÉ DES RÉSULTATS	42
RÉFÉRENCES	43

Liste des tableaux

Tableau I.	Limites MTA pour différentes fenêtres de temps	9
Tableau II.	MTA limites recalculés pour des sujets de 12 à 20 ans	14
Tableau III.	Description des sujets	22
Tableau IV.	Répartition du nombre d'enregistrements et de sujets selon l'âge	23
Tableau V.	Valeurs minimales et maximales des données de l'ambiance thermique	24
Tableau VI.	Synthèse des résultats portant sur la fréquence cardiaque	25
Tableau VII.	Synthèse des résultats portant sur la température sub-linguale et la sudation	28
Tableau VIII	Étude des cas où la FCmoyenne n'a pas atteint 120	33
Tableau IX	Comparaison des saisons 2005 et 2006	36

Liste des figures

Figure 1 :	Valeurs de fréquences cardiaques maximales selon deux équations	7
Figure 2 :	Travail extérieur et intérieur lors de l'engrangement du foin	16
Figure 3 :	Enregistrement typique de la fréquence cardiaque lors d'un quart de travail	32
Figure 4 :	Comparaison des MTA enregistrées en 2005 et 2006	37

1. INTRODUCTION

Chaque été, plusieurs adolescents sont recrutés par des producteurs agricoles pour l'engrangement du foin. Cette opération doit être faite alors que le foin est sec, ce qui explique qu'elle se produise généralement en période chaude. L'ambiance thermique chaude s'ajoute alors à la chaleur métabolique dégagée par ces jeunes qui effectuent un travail physique lourd et qui ne sont généralement pas acclimatés à la chaleur lors des premiers jours de travail. Ce rapport présente les résultats d'une recherche sur la faisabilité d'un programme d'autosurveillance de l'astreinte thermique chez des adolescents engrangeant du foin. La problématique, les objectifs de la recherche, les hypothèses, la revue de la littérature sur le sujet et la méthodologie sont d'abord présentés. Suivent les résultats et la discussion, ainsi que les recommandations qui en découlent.

Avant le démarrage de l'étude faisant l'objet de ce rapport, des données avaient été recueillies lors de l'été 2003 chez deux producteurs agricoles de la région de la Mauricie. Cette étude préliminaire avait été réalisée dans le cadre d'un mémoire du programme de maîtrise en génie industriel, concentration sécurité et hygiène industrielles. Sept sujets différents avaient alors été observés sur 20 quarts de travail. Malgré ce nombre limité d'observations, les données avaient permis de bien circonscrire la problématique et de dégager des tendances claires.

Les données du projet de recherche faisant l'objet de ce rapport ont été recueillies lors des étés 2004, 2005 et 2006 chez des producteurs agricoles des régions Mauricie et Centre du Québec. Quarante sujets différents ont été observés sur 85 quarts de travail. Sept sujets ont été impliqués sur les deux saisons : 2005 et 2006. Aucun sujet observé à l'été 2004 n'a été observé de nouveau au cours des saisons suivantes.

2. PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS

2.1 Problématique

Plusieurs jeunes de moins de 20 ans travaillent à engranger le foin lorsque l'été arrive. Ce travail est physiquement très lourd, de plus il a lieu sous une ambiance thermique chaude. Dans la grange, la vitesse de l'air est faible et la toiture de tôle rayonne. Les jeunes travailleurs, qui viennent juste de terminer l'année scolaire, ne sont pas acclimatés à la chaleur à moins qu'ils ne pratiquent une activité physique sur une base régulière.

Au Québec, la réglementation sur le travail en ambiance chaude est basée sur l'indice WBGT (« Wet Bulb Globe Temperature »). Or, il est difficilement applicable au travail étudié ici puisque son champ d'application se limite à des travailleurs acclimatés, qui travaillent selon un horaire de huit heures par jour. De plus, cet indice est déduit d'une relation empirique extraite d'études où tous les sujets étaient adultes (Héroux-Bertiaume et Blouin, 2001).

Poitras (2003) souligne qu'en 2001, il y a eu au Canada 57 décès et 62 854 blessures chez les jeunes de 15 à 24 ans, particulièrement chez les jeunes hommes. Il rapporte également que c'est dans la vente au détail, l'hôtellerie, la construction et l'agriculture que la majorité des décès chez les jeunes se sont produits. Bien que le Québec jouisse d'un climat tempéré, huit décès par coup de chaleur y sont survenus dans les domaines de la foresterie, de l'agriculture, de la construction et chez les paysagistes entre 1993 et 2002 (Charbonneau, 2003). Les travailleurs de ces secteurs d'activité ont de particulier qu'ils sont dispersés sur un vaste territoire. Il est donc impossible de les rejoindre en temps opportun, même en y consacrant l'ensemble des ressources compétentes dans ce domaine dont disposent la Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST) et les équipes de santé au travail des Centres de Services Sociaux (CSS). Il est utopique de croire que les producteurs agricoles se procureront l'instrumentation nécessaire à son application parce que trop dispendieuse. Il devient donc nécessaire de disposer d'un programme de surveillance qui puisse être pris en main par les producteurs et les travailleurs agricoles.

L'évolution de l'instrumentation, notamment les cardi tachymètres, fait en sorte qu'il est aujourd'hui plus facile de mesurer certains paramètres de l'astreinte thermique, soit la réponse physiologique de la personne exposée, que de mesurer la contrainte thermique, qui, elle, dépend de l'ambiance thermique, de la charge de travail et de la tenue vestimentaire. La surveillance de l'astreinte a l'avantage de mesurer directement la réponse physiologique et d'ainsi fournir un portrait de l'état du travailleur. Par contre, il fournit l'information sur l'état d'une seule personne à la fois. Une majorité de personnes doit donc se l'approprier. Un programme qui permette à un grand nombre de travailleurs de mesurer et d'interpréter eux-mêmes leur niveau d'astreinte, sans instrument, paraît donc souhaitable (Dessureault et Schreiber, 1997).

Aussi, la réglementation ne précise pas la nature de la surveillance physiologique exigée lorsque les conditions d'application de l'indice WBGT ne sont pas rencontrées. À ce jour, l'évaluation de l'astreinte thermique est utilisée dans plusieurs de ces cas (Héroux-Berthiaume et Blouin, 2001). La surveillance de la fréquence cardiaque de récupération lors de travaux en ambiance chaude se pratique depuis fort longtemps (Brouha, 1960, Vogt et Metz, 1981), mais a été testée bien plus en laboratoire que sur le terrain (Meyer, Martinet et Payot, 2000).

2.2 Objectifs de l'étude

L'objectif principal de cette étude est donc de vérifier la faisabilité d'un programme d'autosurveillance de l'astreinte thermique pour des jeunes travailleurs engrangeant du foin.

Pour ce faire, il faut vérifier quel domaine de l'astreinte thermique réagit le plus tôt: la réaction cardiaque, l'augmentation de la température corporelle ou les pertes hydriques. Il faut explorer différents paramètres de mesure de ces domaines afin de vérifier lequel serait le plus facilement interprétable et applicable pour les jeunes tout en assurant à chacun un haut niveau de sécurité. Les différents paramètres à étudier sont : le pourcentage atteint de la fréquence cardiaque maximale, la fréquence cardiaque moyenne sur tout le quart et sur des fenêtres de temps de durée variables, le dépassement des limites dictées par la méthode de Brouha, la température corporelle de même que l'élévation de celle-ci entre le début et la fin du quart de travail, les pertes sudorales lors de l'exécution de la tâche et le déficit hydrique. Pour chacun de ces paramètres, des limites ont été proposées par : l'OMS, ISO (2004), Vogt et Metz (1981), Bernard et Kenney (1994) et Brouha (1960).

Dans le cas des limites de fréquence cardiaque moyenne sur des fenêtres de temps variant entre 5 et 90 minutes (MTA) proposées par Bernard et Kenney (1994), une extrapolation a été faite pour les ajuster à l'âge des sujets de cette étude. Un objectif secondaire consiste justement à observer comment se comporte ces limites obtenues par extrapolation en comparaison avec les autres limites de fréquence cardiaque.

Spécifiquement, les objectifs sont :

- Étudier la relation contrainte-astreinte du travail en ambiance chaude chez des travailleurs âgés entre 15 et 21 ans.
- Documenter les limites physiologiques généralement acceptées pour des adultes et proposer des valeurs adaptées à des jeunes de 15 à 21 ans.
- Caractériser les niveaux d'astreinte selon trois dimensions (cardiaque, hydrique et thermique) et vérifier que la dimension cardiaque atteigne les limites adaptées le plus précocement.
- Formuler des recommandations de moyens de réduction de la contrainte thermique pour le cas spécifique de l'engrangement du foin.
- Définir un protocole d'autosurveillance de l'astreinte thermique basé sur l'indicateur le plus précoce et qui puisse être accessible à une majorité de travailleurs des secteurs de l'agriculture, des forêts et de la construction.
- Mesurer le niveau d'appropriation et de conscientisation des travailleurs rejoints par le document durant la seconde année de l'étude par une appréciation qualitative de leur application des techniques retenues.

3. ÉTAT DES CONNAISSANCES

3.1 Contrainte thermique

La contrainte thermique est la charge nette totale imposée au corps par l'environnement, la tenue vestimentaire et la production interne métabolique de chaleur. Les paramètres de la contrainte thermique peuvent être séparés en deux grandes catégories, à savoir les paramètres personnels et ceux liés à l'ambiance climatique (Muller et Hettinger, 1995).

Outre le Règlement sur la santé et la sécurité au travail (RSST), l'indice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) est à la base de plusieurs normes, dont ISO 7243. Bien que cet indice soit généralement considéré très prudent (ACGIH 2007), il est utilisée dans plusieurs pays et organismes de normalisation (Mc Neil et Parsons, 1999), (Bernard, Dukes-Dobos et Ramsey (1994).

Les valeurs limites de l'indice WBGT ont été déterminées empiriquement pour des travailleurs adultes, acclimatés et vêtus d'une tenue normale de travail. L'indice WBGT est donc moins bien adapté dans des situations éloignées de ces conditions (Mariaux et Malchaire, 1990) comme c'est le cas avec les jeunes travailleurs qui engrangent le foin : non acclimatés, jeunes et dont la tenue vestimentaire varie largement. Lorsque applicable, cet indice est sécuritaire, clair et facilement interprétable, tel qu'un indice performant se doit (Mc Neil et Parsons, 1999). Par contre, il requiert une instrumentation spécifique, coûteuse et fragile.

3.2 Astreinte thermique

L'astreinte thermique est la réponse physiologique de l'homme exposé à la contrainte thermique. La fréquence cardiaque, la température corporelle et le débit sudoral en sont les domaines (Dessureault, 2002). L'âge, la santé, la condition physique, l'acclimatement et la prise de médicaments, entre autres, affectent l'astreinte thermique (Bishop, 1994).

3.2.1 La fréquence cardiaque

Parmi les domaines de l'astreinte thermique, la fréquence cardiaque est considérée comme la plus simple à mesurer (Meyer et al. 2001). La réponse cardiaque est généralement plus précoce que les domaines hydrique et thermique (Dessureault et Doucet, 2001). Aussi, cette mesure est privilégiée par plusieurs (Malchaire et al., 1986, Parson, 1993, Moran et al., 1995, Meyer et al., 2001, Dessureault, 2003) .

La fréquence cardiaque englobe en outre, en plus de l'astreinte thermique, l'effort physique, les paramètres émotionnels et mentaux (Myrtek et al., 1999) et ce, avec un temps de réponse relativement court (Mairiaux et Malchaire, 1990). Après un effort extrême, la diminution de la fréquence cardiaque est considérée comme le meilleur indice de récupération (Malchaire, 1999). Sous une charge de travail physique lourde, la réponse cardiaque est d'autant plus précoce puisque l'activité musculaire commande une accélération de la fréquence cardiaque.

Méthode de Brouha et la composante thermique de la fréquence cardiaque

La fréquence cardiaque durant le travail et au repos peut indiquer la grandeur de l'astreinte thermique. Brouha (1960) et Fuller et Smith (1981) ont proposé des limites de l'astreinte thermique basées sur la récupération cardiaque. La méthode de Brouha permet à presque tous les travailleurs de connaître leur niveau d'astreinte et ne requiert qu'un simple repos de trois minutes. Les travailleurs doivent s'asseoir sur le lieu même de travail et mesurer leur pouls. Il prennent en note le nombre de battements cardiaques obtenus entre 30 secondes et une minute après le début de la pause et entre deux minutes et demi et trois minutes. C'est à partir de ces deux données appelées P_1 (pour le pouls de la seconde moitié de la première minute de pause) et P_3 (pour le pouls de la seconde moitié de la troisième minute de pause) que le niveau d'astreinte est établi (Fuller et Smith, 1981). Ces données sont alors confrontées à des limites.

D'abord, il fut établi que la fréquence cardiaque P_1 ne devrait pas dépasser 110 battements par minute. Attention de ne pas confondre cette valeur avec la fréquence cardiaque moyenne limite entre 110 et 120 bpm recommandée sur un quart de travail de huit heures (Fuller et Smith, 1981). Une fréquence cardiaque P_1 au-dessus de 110 battements par minute (bpm) indique une charge cardiaque trop sévère et que le travail devrait être interrompu (Bernard et Logan, 1999). De plus, la différence entre P_3 et P_1 ($P_3 - P_1$) devrait être supérieure ou égale à 10 battements par minute. Une valeur inférieure à 10 indique que le sujet récupère difficilement (Fuller et Smith, 1981).

Vogt et Metz (1981) ont proposé une méthode pour estimer le nombre de battements cardiaques induit par l'astreinte thermique. Pour ce faire, il faut calculer les fréquences cardiaques P_3 , P_4 et P_5 : soit le pouls de la seconde moitié de la troisième, quatrième et cinquième minute de pause. De plus, la fréquence cardiaque au repos est nécessaire. La fréquence cardiaque au repos, peut s'estimer de plusieurs façons. Certains utilisent la fréquence cardiaque moyenne pendant cinq minutes assis (Meyers et al. 2001), tandis que d'autres préconisent la valeur dépassée pendant 99% du temps de travail (Malchaire et al., 1986). Une fois ces données obtenues, le calcul suivant est fait :

Composante thermique de la $FC_{\text{ther}} = (P_3 + P_4 + P_5)/3 - \text{Fréquence cardiaque au repos}$

La composante thermique de la fréquence cardiaque devrait être inférieure à 30 bpm selon l'OMS. Cette méthode repose sur l'hypothèse que lors d'un travail sous maximal, les fréquences cardiaques d'origine motrices devraient être totalement récupérées après 3 minutes de repos assis.

Les lacunes principales des limites présentées par Vogt et Metz sont les suivantes : d'abord la personne doit savoir comment prendre son pouls et doit comprendre comment obtenir P_1 , P_3 , P_4 et P_5 et comment calculer la composante thermique de la fréquence cardiaque. De plus, ces indices ont surtout été testés en laboratoire ou sur de très petits groupes de sujets, tous adultes. Une généralisation reste à faire avec de plus grands groupes (Meyer, Matinet et Payot, 2000).

Fréquence cardiaque plafond

La fréquence cardiaque à ne pas dépasser peut aussi s'exprimer en pourcentage de la fréquence maximale d'un individu. Il ne faut alors pas dépasser 85 ou 90 % de la fréquence cardiaque maximale (Mairiaux et Malchaire, 1990) afin de rester sous un seuil sécuritaire. Deux équations sont utilisées pour déterminer cette dernière : d'une part, l'équation $220 - \text{âge}$ et de l'autre, $195 - 0.67 (\text{âge} - 25)$. Selon Bernard et Kenney (1994), cette dernière équation représente le point milieu de l'étendue des données observées par l'American Heart Association.

La première équation demeure cependant la plus répandue dans le domaine médical tandis que la seconde a été instaurée pour l'analyse des coûts énergétiques du travail physique. Ces deux équations convergent pour les sujets de 25 ans (voir figure 1). Pour le groupe d'âge visé par l'étude présente, la seconde équation est donc plus prudente.

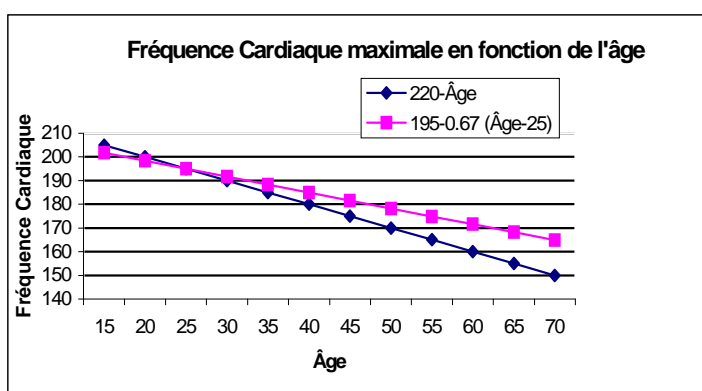


Figure 1. Valeurs de fréquences cardiaques maximales selon deux équations

« Moving-Time Average » (MTA)

Sur la plage de dépense énergétique comprise entre 30 et 70% du $\dot{V}O_2\text{max}$, une relation linéaire existe entre le métabolisme et la fréquence cardiaque. Ainsi, la fréquence cardiaque enregistrée lors d'un exercice correspond à une valeur de consommation d'oxygène suivant cette relation.

La limite inférieure de la plage de linéarité, soit 30% du $\dot{V}O_2\text{max}$, équivaut à une fréquence cardiaque entre 110-120 bpm suivant l'âge du sujet considéré alors que la limite supérieure de 70% du $\dot{V}O_2\text{max}$ correspond à une fréquence cardiaque estimée de $200 - \text{âge}$ toujours selon

Bernard et Kenney (1994). Au delà de 70% du $\dot{V}O_2\text{max}$, le débit cardiaque augmente de façon moins importante (Bevegard et Sheperd, 1967). La courbe est aussi fonction de l'âge et de la masse de l'individu (Galloway et Maughan, 1997).

L'approche de Bernard et Kenney repose sur une analogie entre le pourcentage de $\dot{V}O_2\text{max}$ et le coût cardiaque relatif (CCR). Ce dernier représente le pourcentage de la plage ayant pour limite inférieure la fréquence cardiaque au repos (correspondant au $\dot{V}O_2\text{repos}$) et pour limite

supérieure la fréquence cardiaque maximale (correspondant au $\dot{V}O_{2\max}$). Par exemple, un homme de 50 ans a une fréquence cardiaque maximale de : $(195 - 0.67 (50 - 25)) = 178$ bpm. Utilisant une fréquence cardiaque au repos de 75 bpm, la plage de fréquence cardiaque est donc de :

$$178 - 75 = 103 \text{ bpm}$$

Les études de Åstrand et Rodahl (1970) déterminent à 59% du $\dot{V}O_{2\max}$ la limite d'exercice pour une période de 45 minutes. En appliquant ce même pourcentage à la plage cardiaque on obtient :

$$0.59 (103) = 61 \text{ bpm}$$

La valeur de fréquence cardiaque correspondant est la fréquence cardiaque au repos majorée de ce 61 bpm est donc de 136 bpm.

Ainsi, pour un homme de 50 ans, une dépense énergétique correspondant à 59% de son $\dot{V}O_{2\max}$ situe la fréquence cardiaque à 136 bpm.

Bernard et Kenney (1994) ont ainsi traduit en fréquence cardiaque les pourcentages du $\dot{V}O_{2\max}$ (Tableau I) qui peuvent être maintenus sur diverses périodes de temps (5, 10, 20, 30, 45, 60 et 90 minutes) recommandés par Åstrand et Rodahl (1970). Ces limites ont été obtenues pour trois groupes d'âge différents. Selon Bernard et Dukes-Dobos (1994), ces limites permettent de protéger les gens de différents groupes d'âge pour les différentes périodes d'effort physique.

Il faut noter que les pourcentages limites de consommation d'oxygène maximale tel que présentés par Åstrand et Rodahl (1970) se basent sur les travaux de plusieurs chercheurs (Louhevaara, Bink, Rodgers, Kamon) (Figure 2). D'ailleurs, la formule :

$$\text{Log}_{10} \text{ET} = 4 - 4(\% \dot{V}O_{2\max}/100\%)$$

Où ET = temps d'endurance en minutes

a été utilisée pour déterminer des pourcentages limites de $\dot{V}O_{2\max}$ pour différentes fenêtres de temps (Bernard et Dukes-Dobos, 1994).

Le Tableau I montre ces limites pour trois classes d'âge. Par exemple, pour la fenêtre de 5 minutes, la limite à ne jamais dépasser est de 83% du $\dot{V}O_{2\max}$, ce qui représente 169 bpm pour une personne de 35 ans, 160 bpm pour celle 50 ans et 152 bpm pour celle de 65 ans. Ces limites sont calculées en utilisant la limite supérieure de chaque classe d'âge, soit 35, 50 et 65 ans, ceci afin d'assurer une protection adéquate pour toute la plage d'âge (Bernard et Kenney, 1994).

Tableau I. Limites MTA pour différentes fenêtres de temps

Fenêtre de temps (minutes)	Équivalent VO ₂	Classe d'âge		
		20 à 35 ans	36 à 50 ans	51 à 65 ans
5	83	169	160	152
10	75	160	152	145
20	67	151	145	138
30	63	146	140	134
45	59	141	136	130
60	56	138	132	127
90	51	133	128	123

Les limites présentées par Bernard et Kenney sont très simples d'utilisation. Par contre, outre l'instrument développé par l'un de ces auteurs, aucun cardiotechymètre ne présente les valeurs basées sur les MTA. Cette approche devient alors peu pratique à utiliser en temps réel : un calcul devant suivre la prise de données. L'autre lacune de ces limites est que les groupes d'âge pour lesquels elles ont été calculées ne commencent qu'à 20 ans. Elles ne peuvent donc pas s'appliquer aux adolescents sans extrapolation.

3.2.2 Température corporelle

La température de la peau change à mesure qu'un individu est exposé à un environnement chaud. Sous une telle ambiance, la température interne du corps peut augmenter puisque le sang passant à la surface est moins efficacement refroidi (Mehnert et al., 2000). La température interne augmente donc proportionnellement à la fois selon l'effort déployé et l'ambiance thermique (Bernard, Dukes-Dobos et Ramsey, 1994). Les mécanismes physiologiques de refroidissement du corps tels la sudation et la vasodilatation sont alors enclenchés. Lorsque la vasodilatation se produit, plus de sang circule à la surface de la peau. La fréquence cardiaque augmente alors pour permettre ce débit de sang supplémentaire. Le sang refroidit au niveau de la peau, notamment grâce à l'évaporation de la sueur, abaisse la température de tout le corps.

La température profonde du corps humain doit se maintenir très près de 37 °C. Plusieurs normes (NIOSH, WHO, ISO) fixent à 38 °C la limite supérieure de température interne (Malchaire et al., 2000). Cette valeur prend en considération les variations entre individus (Green et al., 1999). En effet, ISO 7933 indique que lorsque un groupe de travailleurs présente une température rectale moyenne de 38 °C, la probabilité qu'un individu atteigne 39.2 °C est de moins d'une chance sur 10 000 quarts de travail; pour une température rectale de 42 °C, la probabilité est inférieure à une chance sur 10 000 000. Plusieurs considèrent la limite de 38°C trop prudente (McNeill, 1999; Wyndham et al., 1965; Malchaire, 1999 et Griefahn, 1999). Lorsque la température corporelle est estimée à partir de la température sub-linguale, il est reconnu que la limite devient alors de 37.5 °C, plutôt que 38 °C pour la température profonde. Un facteur de correction de 0.5 °C est

ajouté à cette lecture puisque la température sub-linguale n'est qu'une approximation de la température profonde.

Plusieurs façons de mesurer la température corporelle sont utilisées. Certains préfèrent mesurer la température de la peau tandis que d'autres mesurent une température interne (Ayogai, 1997). En laboratoire, les températures rectales et œsophagiennes, plus précises, sont utilisées pour connaître la température profonde. Ces façons de prendre les mesures sont toutefois mal acceptées par les travailleurs (Bernard et Kenney, 1994). De petits émetteurs que le sujet avale et dont l'émission est proportionnelle à la température interne sont aussi utilisés en laboratoire, mais ils sont également moins bien acceptés (O'Brien et al., 1998). Sur le terrain, la température sub-linguale ou encore tympanique sont les plus utilisées.

La température tympanique est devenue facile à lire grâce aux nouveaux instruments sur le marché. Pour qu'elle soit un reflet de la température profonde, elle doit être prise suivant une méthode précise. Lorsqu'elle est prise dans le canal de l'oreille, elle peut être influencée par la température environnante (Green et al., 1999), sauf si elle est prise dans des conditions idéales de laboratoire (Bernard et Kenney, 1994) ou si un casque spécial est porté (Muir et al., 2001). Des facteurs de correction peuvent donc être utilisés de façon à s'approcher de la température profonde, mais ainsi, la technique perd de sa facilité d'interprétation (Muir et al., 2001).

La température sub-linguale est la plus utilisée en milieu de travail. Certains (Bishop 1996, McCaffrey et al. 1975) prétendent que celle-ci ne devrait être utilisée que pour déterminer le degré de fièvre d'un individu et non sa température profonde (Bishop, 1994). Pourtant, plusieurs la considèrent comme une bonne approximation de la température profonde (Candas et Sagot 1980, Kamon et Belding 1971, Mairiaux, Sagot et Candas 1983, Strydom et al. 1965, Meyer et al. 2001). NIOSH préconise d'ailleurs sa mesure si le sujet respire par le nez pendant les deux minutes et ne boit rien pendant les quinze minutes qui précèdent la lecture (Muir et al., 2001).

3.2.3 Pertes hydriques

Les pertes hydriques englobent le total d'eau perdu par la sudation et la respiration tandis que le déficit hydrique prend en considération le liquide remplacé par ingestion. Le déficit hydrique est donc les pertes hydriques moins le volume de liquide ingéré. Dans la version de ISO 7933 (ISO 2004) il appert que, pour protéger 95% de la population contre un déficit supérieur à 3 % de la masse corporelle, les pertes hydriques ne devraient pas dépasser 5 %. Lorsque cette limite est dépassée, la déshydratation devient significative. Déjà, lorsque 1,5% de la masse d'un individu est perdue en sueur, la déshydratation présente un risque significatif (Harris, 2000). Une perte de masse de plus de 3% provoque une augmentation de la fréquence cardiaque (Sawka et al., 2000).

Pour contrer la déshydratation et ainsi pouvoir travailler sous une condition de contrainte thermique, plusieurs chercheurs (Marriott 1993, Marriott et Rosemont 1994, Mudambo et al. 1997) s'entendent pour dire que le remplacement de fluide est important. Brake et Bates (2002) suggèrent même de ne pas considérer l'astreinte hydrique lorsque l'eau est disponible aisément. Le volume de fluide requis par jour varie entre deux litres, pour une personne sédentaire sous une ambiance thermique neutre, et dix litres pour une personne active sous une condition de contrainte thermique (Sawka et al., 1998). Mairiaux et Malchaire (1990) précisent que de boire à

sa soif n'assure pas un niveau de réhydratation suffisant. L'eau pure est le liquide le plus recommandé bien que des boissons contenant du potassium et du sodium telles les fluides de remplacement aident à compenser pour les pertes sudorales.

Le régime hydrique peut être mesuré à partir des enregistrements de masses des sujets sur une balance de précision en parallèle avec l'enregistrement des volumes de liquides bus et urinés, de même que la masse des repas. La différence entre la masse du sujet au début et à la fin du quart représente le déficit hydrique. Si on considère la masse des liquides et solides ingérés, moins les mictions, on obtient alors le total des pertes hydriques par sudation et par les voies respiratoires (Bishop, 1994).

3.3 Contrainte thermique, astreinte thermique et l'âge

Il est connu que les gens âgés sont désavantagés lorsqu'ils travaillent dans une condition de contrainte thermique (Harris, 2000). Cela est dû au fait que leurs réserves cardiocirculatoires sont plus faibles et qu'ils compensent moins bien pour les hausses de température puisqu'ils suent plus tardivement. En outre, leur capacité aérobie moyenne est moindre. Ces facteurs s'accroissent avec l'âge et sont particulièrement visibles chez les gens de plus de soixante ans. À cet âge, l'acclimatation est beaucoup plus longue à s'établir (Armstrong et Kenney, 1993). Par contre, chez des gens d'âges différents, mais avec une consommation d'oxygène maximale égale, il y a très peu de variations dues à l'âge (Aoyagi, McLellan et Shephard, 1997). Certains chercheurs (Therminarias et al. 1992) ont observé une récupération plus rapide chez de jeunes sujets de 19 à 25 ans comparativement à ceux d'âge moyen de 40 à 55 ans. L'explication avancée par ces chercheurs repose sur des différences hormonales.

La vaste majorité des études sur la contrainte thermique en fonction de l'âge, portent sur des sujets de plus de 21 ans. Sur des sujets plus jeunes, Samueloff et Yousef (1987) rapportent que Wagner et al. (1972) ont comparé des jeunes de 11 à 14, 15 et 16, avec des sujets de 25 à 30 ans. Ils ont constaté que la température profonde et la fréquence cardiaque des jeunes étaient plus élevées avant et après l'effort. En revanche, les jeunes de 15 et 16 ans performaient mieux que les jeunes hommes de 25 à 30 ans. Wagner conclut donc que les préadolescents de 11 à 14 ans ont une moins grande tolérance à la chaleur parce que leur capacité à suer est moindre et que leur système cardiovasculaire est moins stable. Lorsque les sujets sont un peu plus vieux (15 et 16 ans), ils suivent la tendance déjà établie pour des sujets plus âgés (Samueloff et Yousef, 1987). Le même genre de conclusion sur les jeunes de 15 ans et plus a été rapporté par Åstrand et Rodahl (1970).

3.4 Contrainte thermique, astreinte thermique et l'agriculture

Moran et al. (1995) rapportent que certains chercheurs (Pandolf et al., 1979 et Shapiro et al., 1988) ont affirmé que les conditions climatiques à l'intérieur ne peuvent pas bien simuler l'environnement extérieur, particulièrement pour le rayonnement. Plus récemment, Dessureault et Gressard (2006) ont tenté d'accentuer l'impact du rayonnement sur les lectures du WBGT en protégeant le point de lecture contre le vent dans un abri noir mâât et ont observé une grande variabilité dans les lectures. C'est pourquoi des expériences doivent être conduites sur place, et non en laboratoire, dans le cas de l'agriculture, afin de bien prendre en considération le rayonnement du soleil ou du toit de tôle de certains bâtiments de ferme.

Il y a un besoin pour des recherches en ergonomie en agriculture (Kaminaka, 1985). Un sondage sur l'ergonomie en agriculture a révélé que l'environnement était une des préoccupations importantes des gens oeuvrant dans ce secteur. Avec l'ergonomie des machines et la sécurité, la contrainte thermique vient en tête de liste (Ahonen et al., 1990). Quelques recherches sur la contrainte thermique en agriculture ont été faites (Wisner, 1996 et O'Neil, 1989), la majorité d'entre elles dans des pays où les conditions climatiques sont très différentes de celles du Québec, notamment dans les régions de l'Afrique Sub-Saharienne et en Europe (Malchaire, 1999).

Au Québec, malgré la modernisation des équipements agricoles, certaines tâches demeurent physiquement très exigeantes. L'agriculteur doit souvent travailler dans des conditions de contrainte thermique car son travail est régi en bonne partie par les conditions météorologiques. D'ailleurs, la CSST a enregistré trois décès par coup de chaleur en agriculture entre 1994 et 2002 (Dessureault et Doucet, 2002).

L'agriculture est considérée comme un des secteurs d'activité les plus exigeants physiquement avec les travaux miniers et ceux de construction (O'Neil, 1999). Depuis plusieurs années, des recherches tentent d'adapter les normes pour les rendre plus appropriées aux travaux agricoles. McNeil et Parsons (1999) ont d'ailleurs démontré que ISO 7243 (qui utilise l'indice WBGT) était peu valable dans des conditions de contrainte thermique extrême et que ISO 7933 surestimait le débit sudoral limite dans ces conditions, ce qui le rendait trop prudent. Les travailleurs seraient alors portés à l'ignorer et l'employeur ne voudrait pas l'appliquer pour ne pas engendrer des pertes de productivité. En foresterie comme en agriculture, le WBGT et les autres indices sont peu utilisés pour mesurer la contrainte thermique (Wasterlund, 1996). Aucune étude ne rapporte de travaux concernant un programme d'autosurveillance de l'astreinte thermique.

4. MÉTHODOLOGIE

4.1 Extrapolation des MTA limites pour des sujets de 12 à 20 ans

Des limites de fréquence cardiaque portant sur la moyenne et sur la valeur la plus élevée sont bien connues et documentées. Entre ces deux limites, l'analyse de la fréquence cardiaque sur des fenêtres de temps variant entre 5 et 90 minutes proposée par Bernard et Kenney complète le tableau. Ces auteurs n'ont pas considéré les jeunes de moins de 20 ans lorsqu'ils ont élaboré les MTA ("Moving-Time Average Windows") limites. Le tableau II présente les MTA limites extrapolées pour les différents âges visés par l'étude.

Tableau II. MTA limites recalculés pour des sujets de 12 à 20 ans

Fenêtre MTA (min.)	% VO _{2max}	Âge (année)									
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
5	83	182	182	181	180	180	179	178	178	177	177
10	75	172	172	171	170	170	169	169	168	168	167
20	67	161	160	160	160	159	159	159	158	158	157
30	63	156	156	155	155	154	154	154	153	153	153
45	59	151	150	150	150	149	149	149	148	148	148
60	56	147	147	146	146	146	145	145	144	144	143
90	51	141	140	140	140	139	139	139	138	138	138

4.2 Observations sur les fermes

4.2.1 La difficile collaboration des producteurs agricoles

Lors d'une rencontre avec le Comité de liaison CSST-UPA, avant le démarrage de la présente recherche, il avait été convenu que le représentant de l'Union des producteurs agricoles (UPA) siégeant sur ce Comité faciliterait le contact avec les producteurs afin de les y intéresser. Toutes nos tentatives ultérieures de contact avec ce représentant sont demeurées sans réponse.

L'équipe de recherche a pu rejoindre quelques producteurs par deux voies à savoir, les contacts personnels et les bureaux régionaux de l'UPA. Il a été difficile de convaincre un nombre suffisant de producteurs de participer à cette recherche, cependant, une fois le processus enclenché, la plupart ont continué à collaborer sans hésitations. Lorsqu'il était prévu d'enranger du foin, nous entrions en contact avec le producteur pour nous présenter sur la ferme avant le début du travail.

Ces fermes utilisaient du foin sec, façonné en petites balles qui étaient engrangées manuellement. Deux fermes avaient pour vocation l'élevage des chevaux, les autres étaient des fermes laitières. La cueillette des données s'est déroulée durant les étés 2004, 2005 et 2006.

4.2.2 Sujets et tâche

Il était très facile de convaincre les jeunes travailleurs de participer à cette étude. D'une part, la compensation de 20 dollars exigée par le Comité d'éthique représentait une augmentation de revenu significative. D'autre part, les jeunes sont généralement très intéressés par la recherche, les gens qui la font ainsi que l'instrumentation utilisée.

La population visée initialement par cette étude est composée de jeunes travailleurs de 15 à 21 ans. Lorsque le nombre de cardiotechymètres le permettait, les travailleurs hors de cette plage d'âge affectés aux mêmes travaux ont été l'objet d'un monitoring. Des travailleuses ont également été retenues. Les sujets habitent généralement en milieu rural où l'agriculture est très présente. Ils sont généralement bien connus du producteur agricole, plusieurs ont un lien de parenté avec ce dernier.

Pour chaque sujet, une fiche contenant les informations personnelles requises était complétée. La date de naissance du sujet, qui servait à déterminer son âge, y est inscrite ainsi que sa stature et masse corporelle. Le nom de chaque participant ainsi que leurs adresses étaient notés afin de pouvoir les informer des résultats obtenus et les contacter au besoin. L'habillement a aussi été noté afin de pouvoir déterminer l'isolation vestimentaire.

Le travail d'engrangement du foin consiste à manipuler des balles de foin qui pèsent entre 15 et 20 kg chacune. Lorsque une remorque chargée de balles de foin arrive, les sujets forment deux groupes : l'un à l'extérieur charge les balles sur un convoyeur qui amène celles-ci à l'intérieur de la grange où le second groupe les empile. L'espace dans le fenil (grenier de la grange) est limité et le mouvement de l'air est restreint. De plus, le toit de tôle rayonne la chaleur.

Dans le groupe travaillant à l'extérieur, il y a habituellement au moins une personne qui fait rouler les balles du haut de la charge et une autre qui les place sur le convoyeur (voir haut figure 2). À l'intérieur il y a des gens qui prennent les balles du convoyeur et qui les lancent à une seconde personne qui les empile (voir bas figure 2). Le travail à l'intérieur est réputé plus difficile.



Figure 2. Travail extérieur et intérieur lors de l'engrangement du foin

Une charge contient près de 200 balles et peut prendre de dix à vingt minutes à engranger. Chaque fois que cela est possible, les sujets prennent une pause d'une dizaine de minutes entre chacune d'elles, lors desquelles ils se désaltèrent et récupèrent. Le nombre de manipulations dépend du nombre de personnes affectées à chaque tâche. La durée d'un quart de travail varie énormément selon les conditions climatiques et la planification du producteur. Les journées observées ont vu le nombre de charges de foin varier entre 2 et 9, ce qui représente entre 8 et 36 tonnes, et la durée de travail varie entre 36 minutes et 9h20. Le travail s'amorce généralement en début d'après-midi, alors que le foin est sec, pour se terminer avant 19:00h. Les sujets ne soupaient qu'une fois le travail terminé et mangeaient très peu durant le quart. Dans quelques cas, l'engrangement des dernières remorques était remis au lendemain matin.

4.2.3 Instructions données aux sujets

La nature de la recherche et les différentes mesures à prendre étaient présentées aux sujets avant la signature du formulaire de consentement. Aussi, le fonctionnement général du cardiotechymètre Polar S610i était expliqué aux sujets. Ils étaient invités à informer l'expérimentateur dès qu'ils remarquaient une irrégularité dans le fonctionnement ou qu'ils s'inquiétaient des fréquences cardiaques qu'ils pouvaient y lire. Si un malaise ou une faiblesse survenait, ils devaient aussi le mentionner à l'expérimentateur.

Afin de connaître le déficit hydrique des participants, les volumes de liquide bus étaient enregistrés ainsi que la masse de nourriture ingérée et les volumes urinés au cours de la journée. Les breuvages étaient fournis à volonté et les participants étaient invités à alterner entre l'eau et les fluides de remplacement.

Il était demandé aux participants de ne rien boire durant les 15 minutes et de respirer par le nez durant les deux minutes précédant la prise de la température sub-linguale.

Finalement, les sujets ont été invités à ne pas changer leurs habitudes, que ce soit la fréquence des pauses, le niveau d'intensité du travail ou leur habillement.

4.2.4 Lecture des paramètres de la contrainte thermique

Les mesures de l'ambiance thermique (température de l'air, vitesse de l'air, humidité relative, température du globe et température humide naturelle) étaient prises à intervalle d'environ une heure, à l'intérieur et à l'extérieur afin d'assurer que les données soient collectées aux endroits où les adolescents travaillaient.

Le psychromètre (Cole-Parmer Modèle 3312-40) était utilisé pour obtenir le pourcentage d'humidité relative de l'air car il requiert peu d'entretien et est fiable. La vitesse de l'air était lue sur un anémomètre à hélice Turbo Meter (Davis Instrument, États-Unis). Ce choix a été retenu parce que cet instrument capte des vitesses d'air plus faibles qu'un thermoanémomètre. La direction du mouvement de l'air a été obtenue à l'aide de bulles de savon. Le Wibget série RSS-214 (Imaging & Sensing Technology, États-Unis) a permis de mesurer les températures de globe noir et humide naturelle et la température WBGT. L'avantage de cet instrument est une lecture directe, sans avoir à utiliser des tables ou des calculs pour obtenir le WBGT. Pour les lectures prises à l'intérieur, il fallait laisser un long temps de réaction, soit 20 à 30 min afin de s'assurer d'obtenir une donnée précise (Rastogi, Gupta et Husain, 1992).

4.2.5 Enregistrement des paramètres de l'astreinte thermique

Chaque sujet portait un cardiotechymètre Polar S610i (Polar Electro Oy, Finlande) préprogrammé en fonction de sa masse, son âge et son niveau d'activité. Toute alarme était désactivée. La fréquence cardiaque a été prise à chaque cinq secondes et mise en mémoire pour tout le quart de travail. L'analyse de l'enregistrement a été possible grâce au programme informatique Polar S-Series Precision (Polar Electro Oy, Finlande).

Fréquence cardiaque au repos

La valeur minute qui est dépassée 99 % du temps a été retenue pour estimer la fréquence cardiaque au repos. Cette méthode est défendue par Mairiaux et Malchaire (1990) qui considèrent qu'elle donne les meilleurs résultats.

Fréquence cardiaque moyenne

La fréquence cardiaque moyenne est simplement déterminée selon la moyenne arithmétique de toutes les valeurs de fréquences cardiaques prises aux cinq secondes par le cardiotechymètre sur tout le quart de travail, incluant les pauses et les temps d'attente.

Fréquence cardiaque plafond

La fréquence cardiaque plafond est la fréquence cardiaque la plus élevée sur une période d'une minute atteinte durant le quart de travail.

“ Moving-Time Average ” : calcul à partir de l'enregistrement

Le logiciel Polar S-Serie Precision aide à visualiser les données, mais ne permet pas d'obtenir des valeurs moyennes de fréquence cardiaque pour des fenêtres de temps de 5, 10, 20, 30, 45, 60 et 90 min. Un fichier Excel fut donc créé afin d'obtenir ces moyennes et les comparer aux limites révisées pour les groupes d'âges de 12 à 21 ans.

Méthode de Brouha et composante thermique de la fréquence cardiaque

Lors de chacune de leurs pauses, les sujets devaient prendre leur pouls pour les trente dernières secondes de chacune des cinq premières minutes, (P_1 à P_5). Ensuite, P_1 - P_3 et la fréquence cardiaque d'origine thermique étaient calculés afin de les confronter aux limites déterminées par Brouha, Vogt et Metz. Après quelques journées d'observation et vérification sur les enregistrements du cardiotachymètre, il est apparu que plusieurs sujets ne pouvaient compter leur pouls avec précision. Pour le reste de l'étude, c'est par un marqueur sur cet appareil, qu'on crée en appuyant sur un bouton, que le début des pauses a été identifié et les valeurs P_1 à P_5 étaient lues sur la matrice des enregistrements.

Température sub-linguale

La température sub-linguale était prise au début et à la fin de chaque quart, avec un thermomètre digital SureTemp (Welch Allyn, États-Unis). L'exténuement et l'enchifrènement ne permettaient pas toujours au sujet de respirer par le nez durant les deux minutes qui précèdent l'enregistrement de ce paramètre.

Masse des sujets

Une balance de précision (Weigh-Tronix, modèle BS-2424-N, États-Unis) était utilisée pour obtenir la masse des individus au début et à la fin de chaque quart de travail. La masse de tout ce qui a été bu et mangé par chaque sujet était notée ainsi que la teneur et l'heure à laquelle le breuvage était pris.

Le volume des mictions a été mesuré à l'aide de verres de carton gradués à chaque 50 ml, l'heure et la teinte étaient également notées.

4.2.6 Déroulement de la journée

À chaque journée où le foin était engrangé, les participants devaient arriver une heure plus tôt que l'heure du début du travail. Cela permettait à l'expérimentateur d'expliquer la recherche, de signer le formulaire de consentement, de prendre les données de départ (température sub-linguale, masse initiale, habillement) et d'installer les cardiotachymètres sur chaque sujet. L'expérimentateur devait être sur place deux heures avant le début prévu du quart de travail afin de préparer son équipement. Parce que la décision de presser du foin se prend souvent moins d'une heure avant l'arrivée des travailleurs, ceux-ci étaient souvent avisés tardivement et plusieurs ont échappé à l'étude pour cette raison.

Une journée typique se déroulait comme suit :

- Obtenir le consentement des travailleurs et du producteur agricole avant le début de la prise de données.
- Avant l'arrivée des sujets, l'expérimentateur préparait ses équipements et instruments de mesure.
- Lecture et signature du formulaire de consentement pour les nouveaux sujets.
- Au début de la journée, les informations sur les sujets étaient prises (âge, masse, niveau d'activité) afin de programmer les cardiotachymètres avant le début du quart de travail.
- Toutes les données environnementales étaient prises au début de chaque journée et à chaque 30 minutes par la suite, en alternance entre l'extérieur et l'intérieur de la grange.
- Lors d'un repas, la nourriture ingérée était pesée et les données prises manuellement jusqu'alors étaient transcrites à l'ordinateur.
- Lors de chacune des pauses en position assise, le participant appuyait sur un bouton du cardiotachymètre pour permettre l'analyse de Brouha.
- Lors de chaque changement d'activité, l'heure était prise en note avec la nature de la nouvelle activité. Les sujets étaient responsables de signaler ces changements d'activité.
- À la fin du quart de travail, les participants devaient rester quelques moments, le temps que les données de chaque montre soient téléchargées sur l'ordinateur et d'enregistrer la température sub-linguale et la masse corporelle.

4.2.7 Programme d'autosurveillance

Au terme de la saison 2005, il était prévisible que plusieurs producteurs et tous les sujets étaient intéressés à poursuivre à la saison 2006. Durant la saison hivernale qui a suivi l'été 2005, chaque sujet a été rencontré personnellement. Plusieurs étaient accompagnés de leurs parents. Leurs enregistrements de 2005 démontrant le niveau d'astreinte cardiaque, hydrique et thermique étaient passés en revue en détail et des instructions sur l'autosurveillance leur ont été transmises. Ces instructions se basaient sur l'interprétation de la fréquence cardiaque et des mictions. Le cardiotachymètre affichant en temps réel la fréquence cardiaque, il leur était enseigné les limites en terme de fréquence ponctuelle et de récupération lors d'une pause en position assise.

Les sept sujets qui ont sont revenus en 2006 étaient invités à appliquer les consignes d'autosurveillance.

5. RÉSULTATS

5.1 Sujets

Durant les trois saisons de cueillette de données, quarante (40) sujets différents ont participé à l'étude. Durant la saison 2004, les conditions météorologiques froides et pluvieuses ont rendu la récolte du foin extrêmement difficile, et la participation des producteurs agricoles l'a été tout autant. Ceci a obligé l'équipe de recherche à couvrir plusieurs fermes sur un vaste territoire. Aucune de ces fermes n'a été revisitée durant les saisons 2005 et 2006.

Par contre, l'été 2005 a été généreuse en ensoleillement et en chaleur, facilitant la récolte du foin. Cette année a permis à l'équipe de prendre contact avec des producteurs agricoles plus importants, qui emploient plus de jeunes pour engranger le foin. Sept des sujets de la saison 2005 ont fait l'objet de monitoring également en 2006. Le Tableau III montre la description des sujets pour l'ensemble des trois saisons de l'étude.

Les sujets âgés entre 15 et 21 ans comptent pour 69 % (59/85) des enregistrements. Les sujets de moins de 15 ans représentent 19 % (16/85) et ceux de plus de 21 ans 12 % (10/85). Le Tableau IV montre le nombre d'observations et de sujets selon leur âge. Le total de 47 sujets s'explique du fait que 7 d'entre eux ont participé sur deux années, ce qui représente donc 40 individus différents.

Il se trouve très peu de filles affectées à ce type de travail. À l'été 2004, les sujets 407, 408, 409 et 410 proviennent toutes d'un même centre équestre où l'équipe a passé une seule journée. Durant les saisons 2005 et 2006, une seule femme (sujet 508 et 609) a participé. La nature très lourde du travail explique que peu de femmes y soient affectées.

En tout, 85 quarts de travail ont fait l'objet d'un enregistrement. Un quart représente un sujet sur une journée de travail. La durée d'un quart varie largement depuis aussi peu que 36 minutes (le pressage du foin a été interrompu par la pluie) jusqu'à 9h20.

Tableau III. Description des sujets

Code sujet	Sexe : Féminin Masculin	Année de participation	Age	Masse corporelle (kg)	Stature (cm)	Fumeur : Oui Non
401	M	2004	18	73.7	188	N
402	M	2004	17	68.5	185	N
403	M	2004	21	68.2	178	N
404	M	2004	17	70.6	172	O
405	M	2004	16	62.5	180	O
406	M	2004	17	79.5	183	N
407	F	2004	15	55.0	162	N
408	F	2004	14	53.9	155	N
409	F	2004	13	60.1	166	N
410	F	2004	16	61.6	164	N
411	M	2004	23	81.4	183	N
412	M	2004	14	64.6	172	N
413	M	2004	35	68.5	170	O
414	M	2004	14	88.8	185	N
415	M	2004	22	73.4	175	O
416	M	2004	14	52.8	160	N
417	M	2004	15	70.8	180	N
418	M	2004	17	n.d.	186	N
501	M	2005	15	50.0	165	N
503	M	2005	15	52.4	160	N
504	M	2005	15	79.1	166	N
505	M	2005	17	n.d.	172	N
614	M	2006	18	n.d.		N
506	M	2005	13	70.6	160	N
507	M	2005	12	44.9	163	N
607	M	2006	13	51.8		N
508	F	2005	20	64.6	166	N
609	F	2006	21	64.5		N
509	M	2005	17	60.5	170	N
602	M	2006	18	64.2		N
510	M	2005	17	52.2	165	N
606	M	2006	18	53.7		N
511	M	2005	16	50.6	165	O
612	M	2006	17	50.7		O
512	M	2005	21	77.9	176	N
601	M	2006	22	76.2		N
513	M	2005	23	75.2	174	N
603	M	2006	18	56.4	172	O
604	M	2006	16	60.0	170	N
605	M	2006	14	72.9	187	N
608	M	2006	15	62.9	165	N
610	M	2006	14	51.6	165	N
611	M	2006	17	60.3	172	O
613	M	2006	12	50.2	140	N
615	M	2006	16	69.4	175	N
616	M	2006	16	69.4	172	O
617	M	2006	14	41.5	155	N
618	M	2006	12	43.4	140	N

Tableau IV. Répartition du nombre d'enregistrements et de sujets selon l'âge

Âge du sujet	Nombre d'enregistrements	Nombre de sujets
12	6	3
13	4	3
14	6	6
15	14	6
16	9	7
17	21	8
18	9	5
19	0	0
20	2	1
21	4	3
22	4	2
23	4	2
35	2	1
Total	85	47

5.2 Ambiance thermique

Les plages de données environnementales recueillies lors des différents quarts de travail sont présentées au tableau V. Les valeurs les plus faibles de températures ont été enregistrées lorsque du foin était engrangé en matinée, le lendemain du pressage. L'ambiance thermique est alors plus accommodante et fait contrepoids à la très lourde charge de travail. À l'opposé, les valeurs supérieures de température reflètent les conditions en fin d'après-midi.

Les données du Tableau V confirment des conditions climatiques difficiles. Les niveaux de température WBGT, autant à l'extérieur qu'à l'intérieur de la grange dépassent en quelques occasions les 30 °C, limite à laquelle même le travail léger ne peut être soutenu sans pauses. Il est peu fréquent de mesurer des températures WBGT de 30 °C et plus à l'extérieur dans la région où a eu lieu cette étude. L'été 2005, particulièrement chaud, y compte pour beaucoup.

Une grange étant un bâtiment très poreux, il n'est donc pas surprenant de constater que les valeurs de chaque paramètre à l'extérieur et dans la grange sont relativement proches. Le niveau de rayonnement à l'intérieur de la grange, exprimé ici par la température du globe de Vernon, démontre que la toiture de tôle, chauffée par le soleil, devient à son tour une source de rayonnement comparable à l'ensoleillement avec des valeurs de 43.0 versus 45.4 °C respectivement.

La vitesse de l'air montre les différences les plus marquées entre les conditions à l'intérieur du bâtiment et celles à l'extérieur. Celle-ci n'a jamais atteint plus de 1.0 m/s à l'intérieur tandis

qu'elle s'est élevée jusqu'à 3,0 m/s à l'extérieur. La vitesse de l'air était souvent non détectable par l'anémomètre à hélice à l'intérieur de la grange.

Tableau V. Valeurs minimales et maximales des données de l'ambiance thermique

	Intérieur		Extérieur	
Symboles et unités	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur minimale	Valeur maximale
Ta (°C)	19	34.4	19	34.7
Tg (°C)	19.5	43.0	23.5	45.4
Th (°C)	13.5	25.9	12.4	25.7
Va (m/s)	n.d.	1.0	n.d.	3.0
H.R. (%)	42	70.5	38	76.5
WBGT (°C)	14.9	31.8	14.9	30.9

Le pourcentage d'humidité relative est celui attendu sous des conditions estivales propice au pressage du foin. Les niveaux d'humidité à l'intérieur de la grange étaient assez près de celui mesuré à l'extérieur.

5.3 Astreinte thermique

5.3.1 Fréquence cardiaque

Le tableau VI - A, B et C présente une synthèse des résultats portant sur la fréquence cardiaque des saisons 2004, 2005 et 2006 respectivement. Les cas où les limites ont été atteintes ou dépassées apparaissent en caractère gras. Dans le cas des analyses de Brouha, un crochet indique un non respect de la limite.

Les résultats de l'année 2004 (Tableau VI A) concernent 22 quarts de travail provenant de 18 sujets différents. Seulement quatre sujets ont participé plus d'une fois. La durée de travail, entre 0h36 et 8h07, illustre bien les caprices de Dame Nature à l'été 2004 durant laquelle plusieurs fois les travaux ont été interrompus par la pluie. Quatre sujets étaient des filles.

La fréquence cardiaque moyenne atteint les 120 bpm dans 19 cas sur 22. La fréquence cardiaque plafond dépasse 90% de la valeur maximale dans 11 cas. À 2 exceptions près (second enregistrement du sujet 411 et sujet 416), ces derniers cas montrent également des dépassements de plusieurs MTA. La notation n.a. sous les MTA indiquent que la durée de l'enregistrement est inférieure à la fenêtre de temps de la MTA. La fréquence cardiaque moyenne est dépassée dans tous les cas de dépassement d'autres limites cardiaques.

Finalement, la méthode de Brouha montre des dépassements dans tous les enregistrements. Le premier critère, soit $P_1 < 110$ bpm est dépassé dans 22 enregistrements; le deuxième, soit $P_1 - P_3 > 10$ bpm n'est pas respecté dans 5 cas sur 22 et finalement, les fréquences cardiaques d'origine thermiques dépassent 30 bpm 15 fois.

**Tableau VI –A. Synthèse des résultats portant sur la fréquence cardiaque :
saison 2004**

Saison 2004																		
Données Personnelles									RESULTATS									
									Fréquence					MTA				
Sujet	Sexe	Date	Âge	Durée de travail	FC max 220-âge	FC max 195-0,67(âge-25)	FC repos	FC moy	FC Plat	% max 220-âge	% max 195-0,67(âge-25)	MTA 5	MTA 10	MTA 20	MTA 30	MTA 45	MTA 60	MTA 90
401	M	2004-06-28	18	1h49	202	200	92	125	168	83,2	84,0	147	143	137	135	133	129	129
402	M	2004-06-28	18	1h41	202	200	97	135	169	83,7	84,5	167	166	162	152	146	143	143
403	M	2004-06-30	21	4h05	199	192	101	146	191	96,0	99,5	184	182	173	166	157	156	154
403	M	2004-07-04	21	8h07	199	192	103	138	181	91,0	94,3	176	171	165	162	157	153	149
404	M	2004-06-30	17	4h06	203	190	80	125	174	85,7	91,6	156	155	151	141	138	136	133
404	M	2004-07-04	17	8h07	203	190	98	135	180	88,7	94,7	170	166	162	159	150	148	146
405	M	2004-06-30	16	4h05	204	185	64	108	148	72,5	80,0	140	136	129	121	120	120	115
406	M	2004-07-04	17	8h06	203	200	93	144	185	91,1	92,5	178	177	174	170	161	157	158
407	F	2004-07-22	15	4h04	205	202	89	135	188	91,7	93,1	179	173	164	160	153	144	142
408	F	2004-07-22	14	3h54	206	202	96	150	203	98,5	100,5	196	196	195	189	176	166	167
409	F	2004-07-22	13	3h36	207	203	94	123	188	90,8	92,6	170	163	162	154	143	135	132
410	F	2004-07-22	16	4h03	204	201	94	140	189	92,6	94,0	179	178	175	168	158	150	152
411	M	2004-07-27	23	1h53	197	196	80	108	155	78,7	79,1	148	136	122	112	112	111	110
411	M	2004-07-30	23	1h09	197	196	98	133	178	90,4	90,8	163	156	142	140	137	135	n.a.
412	M	2004-08-17	14	1h55	206	202	88	139	192	93,2	95,0	175	174	157	153	150	149	144
413	M	2004-07-27	35	1h55	185	188	89	124	163	88,1	86,7	155	147	139	131	128	127	124
413	M	2004-07-30	35	0h36	185	188	105	125	146	78,9	77,7	137	133	131	128	N.A	N.A	N.A
414	M	2004-07-27	14	1h55	206	202	93	126	170	82,5	84,2	154	150	140	130	129	129	127
415	M	2004-07-30	22	1h29	198	197	61	110	161	81,3	81,7	147	142	131	132	125	126	112
416	M	2004-08-17	14	2h04	206	202	79	128	186	90,3	92,1	170	164	153	144	141	142	133
417	M	2004-08-17	15	2h08	205	201	92	129	175	85,4	87,1	160	151	136,7	137	134	134	132
418	M	2004-08-17	17	1h44	203	200	108	140	180	88,7	90,0	170	161	154	153	150	146	141

Les résultats de l'année 2005 (Tableau VI -B) concernent 28 quarts de travail provenant de 12 sujets différents. Dix sujets ont participé plus d'une fois. La durée de travail varie entre 1h05 et 5h40. Seul le sujet 508 était de sexe féminin.

La fréquence cardiaque moyenne atteint les 120 bpm dans 13 cas sur 28. La fréquence cardiaque plafond dépasse 90% de la valeur maximale dans 8 cas. Tous ces cas montrent également des dépassements de plusieurs MTA.

Finalement, la méthode de Brouha montre des dépassements dans 27 cas sur 28 enregistrements. Le premier critère, soit $P_1 < 110$ bpm est dépassé dans 27 cas sur 28; le deuxième, soit $P_1 - P_3 > 10$ bpm n'est pas respecté dans 5 cas sur 22 et finalement, les fréquences cardiaques d'origine thermiques dépassent 30 bpm 14 fois.

Les résultats de l'année 2006 (Tableau VI -C) concernent 35 quarts de travail provenant de 17 sujets différents. Sept sujets ont participé plus d'une fois. La durée de travail varie entre 1h31 et 9h20. Seul le sujet 609 était de sexe féminin.

**Tableau VI –B. Synthèse des résultats portant sur la fréquence cardiaque :
saison 2005**

Saison 2005																						
Données Personnelles								RESULTATS														
								Fréquence cardiaque				MTA						Brouha				
Sujet	Sexe	Date	Âge	Durée de travail	FC max 220-âge	FC max 195-0,67(âge-25)	FC repos	FC moy	FC Plat	% max 220-âge	% max 195-0,67(âge-25)	MTA 5	MTA 10	MTA 20	MTA 30	MTA 45	MTA 60	MTA 90	P1= 110	P1-P3 < 10	FC ther = 30 bpm	
501	M	2005-06-23	15	4h00	205	202	88	117	157	76,6	77,8	144	143	140	131	130	127	125	v			
501	M	2005-06-25	15	3h52	205	202	101	149	196	95,6	97,2	178	172	168	163	164	158	150	v			
501	M	2005-06-27	15	2h51	205	202	106	137	187	91,2	92,6	174	168	157	152	148	147	143	v			
501	M	2005-08-08	15	5h40	205	202	86	107	158	77,1	78,3	175	171	166	152	141	141	134	v		v	
501	M	2005-08-17	15	4h08	205	202	77	100	133	64,9	65,9	119	117	117	114	110	108	106	v			
503	M	2005-06-25	15	3h52	205	202	101	149	196	95,6	97,2	190	187	185	173	170	170	164	v		v	
504	M	2005-06-25	15	2h23	205	202	89	128	157	76,6	77,8	146	145	140	138	136	135	132	v			
504	M	2005-06-27	15	2h47	205	202	86	112	145	70,7	71,9	135	134	125	119	119	117	115	v			
504	M	2005-06-28	15	1h39	205	202	85	124	170	82,9	84,3	163	160	143	141	138	127	124	v			
504	M	2005-08-16	15	2h23	205	202	71	102	165	80,5	81,8	130	124	121	111	110	106	105	v			
504	M	2005-08-18	15	2h35	205	202	72	116	169	82,4	83,8	163	158	151	135	135	132	128	v		v	
505	M	2005-06-28	17	1h57	203	200	88	120	167	82,3	83,3	162	159	144	130	126	125	120	v			
505	M	2005-08-16	17	2h09	203	200	70	101	147	72,4	73,4	138	131	114	109	109	106	105				
506	M	2005-06-28	13	1h05	207	203	94	126	178	86,0	87,7	165	159	143	137	131	127	N.A	v	v		
506	M	2005-08-18	13	4h50	207	203	84	117	185	89,4	91,1	176	174	164	145	145	138	129	v		v	
507	M	2005-08-04	12	2h44	208	204	84	131	182	87,5	89,3	173	169	160	147	147	141	139	v	v		
507	M	2005-08-09	12	3h52	208	204	70	107	158	76,0	77,6	150	149	146	135	124	125	119	v			
508	F	2005-08-04	20	2h04	200	198	88	130	167	83,5	84,2	163	160	152	138	136	135	134	v	v	v	
508	F	2005-08-09	20	3h27	200	198	90	133	182	91,0	91,8	177	171	154	151	145	145	139	v		v	
509	M	2005-08-04	17	2h49	203	200	92	136	199	98,0	99,3	195	192	178	164	160	156	148	v		v	
509	M	2005-08-09	17	3h12	203	200	89	133	198	97,5	98,8	189	176	171	157	150	148	136	v	v	v	
510	M	2005-08-04	16	1h58	204	201	83	120	157	77,0	78,1	149	144	133	134	128	129	123	v		v	
510	M	2005-08-09	16	3h12	204	201	74	117	171	83,8	85,1	167	161	159	148	135	135	130	v		v	
511	M	2005-08-08	16	5h22	204	201	95	138	179	87,7	89,0	172	169	163	154	150	148	146	v	v		
511	M	2005-08-17	16	3h58	204	201	78	113	156	76,5	77,6	143	141	132	127	121	119	119	v		v	
512	M	2005-08-09	21	4h13	199	198	73	113	174	87,4	88,0	158	149	145	134	129	127	123	v		v	
513	M	2005-08-16	23	2h16	197	196	97	139	184	93,4	93,7	180	178	162	148	151	144	142	v		v	
513	M	2005-08-18	23	4h06	197	196	76	116	167	84,8	85,1	159	158	144	143	136	134	128	v		v	

La fréquence cardiaque moyenne atteint les 120 bpm dans 26 cas sur 35. La fréquence cardiaque plafond dépasse 90% de la valeur maximale dans 8 cas. Tous ces cas montrent également des dépassements de plusieurs MTA sauf le sujet 618 qui montre un seul dépassement de MTA.

Finalement, la méthode de Brouha montre des dépassements dans tous les enregistrements. Le premier critère, soit $P_1 < 110$ bpm est dépassé dans 33 cas sur 35; le deuxième, soit $P_1 - P_3 > 10$ bpm n'est respecté dans 20 cas sur 35 et finalement, les fréquences cardiaques d'origine thermiques dépassent 30 bpm 23 fois.

**Tableau VI –C. Synthèse des résultats portant sur la fréquence cardiaque :
saison 2006**

Saison 2006																						
Données Personnelles										RESULTATS												
										Fréquence cardiaque				MTA						Brouha		
Sujet	Sexe	Date	Âge	Durée de travail	FC max 220-âge	FC max 195-0,67(âge-25)	FC repos	FC moy	FC Platf	% max 220-âge	% max 195-0,67(âge-25)	MTA 5	MTA 10	MTA 20	MTA 30	MTA 45	MTA 60	MTA 90	P1 > 110	P1-P3 < 10	FC ther > 30 bpm	
601	M	2006-06-14	22	4h49	198	197	74	109	161	81,3	81,7	146	138	135	132	123	120	115		v		
601	M	2006-06-15	22	9h20	198	197	67	109	169	85,4	85,8	154	147	131	132	126	127	124	v		v	
601	M	2006-06-19	22	5h06	198	197	64	90	134	67,7	68,0	122	114	107	105	102	100	98		v		
602	M	2006-06-14	18	4h25	202	200	89	129	177	87,6	88,5	166	163	152	153	145	141	134	v			
602	M	2006-06-16	18	3h35	202	200	91	133	180	89,1	90,0	169	161	149	146	142	139	139	v		v	
602	M	2006-06-19	18	4h05	202	200	84	123	159	78,7	79,5	148	145	142	139	137	135	134	v	v		
603	M	2006-06-14	18	4h05	202	200	87	119	168	83,2	84,0	158	152	147	145	133	126	124	v			
603	M	2006-06-15	18	5h07	202	200	78	120	157	77,7	78,5	149	145	135	137	131	131	128	v		v	
603	M	2006-06-16	18	3h35	202	200	64	109	145	71,8	72,5	137	135	125	123	121	120	117	v		v	
604	M	2006-06-14	16	2h20	204	201	100	145	182	89,2	90,5	174	170	162	160	158	157	155	v	v	v	
606	M	2006-06-15	17	2h20	203	200	84	126	166	81,8	83,0	155	154	145	139	135	130	127	v		v	
606	M	2006-06-16	17	2h20	203	200	89	128	160	78,8	80,0	158	154	143	141	138	137	133	v	v		
606	M	2006-06-19	17	3h55	203	200	83	115	165	81,3	82,5	149	143	137	134	130	128	127	v	v	v	
607	M	2006-06-15	13	2h20	207	203	75	121	166	80,2	81,8	153	147	136	136	134	129	125	v	v	v	
608	M	2006-06-16	15	3h35	205	202	64	115	171	83,4	84,7	160	153	143	140	135	133	132	v		v	
609	F	2006-06-19	21	4h07	199	198	72	121	169	84,9	85,4	157	154	147	146	145	144	141	v		v	
610	M	2006-06-24	14	3h02	206	202	65	106	150	72,8	74,3	142	140	130	121	115	117	109	v		v	
611	M	2006-06-24	17	3h02	203	200	75	122	162	79,8	81,0	153	152	148	143	134	135	132	v	v	v	
611	M	2006-07-31	17	3h15	203	200	89	154	193	95,1	96,5	187	187	179	168	160	163	159	v		v	
611	M	2006-08-06	17	2h34	203	200	75	130	170	83,7	85,0	161	160	155	144	145	142	139	v	v	v	
611	M	2006-08-09	17	4h30	203	200	77	145	194	95,6	97,0	185	180	173	168	166	165	163	v	v	v	
611	M	2006-08-18	17	4h35	203	200	81	134	165	81,3	82,5	159	156	150	150	143	143	139	v	v	v	
612	M	2006-06-24	17	3h02	203	200	84	127	167	82,3	83,5	161	160	146	142	136	134	135	v	v	v	
612	M	2006-07-31	17	3h15	203	200	81	133	179	88,2	89,5	171	164	161	151	144	142	138	v	v	v	
612	M	2006-08-06	17	3h11	203	200	88	133	179	88,2	89,5	168	167	161	152	144	143	138	v		v	
612	M	2006-08-09	17	4h30	203	200	67	128	176	86,7	88,0	168	165	162	160	156	149	143	v	v	v	
612	M	2006-08-18	17	4h35	203	200	92	129	154	75,9	77,0	149	146	144	138	138	135	132	v	v		
613	M	2006-06-24	12	3h02	208	204	95	137	200	96,2	98,0	177	167	156	153	151	150	148	v	v		
613	M	2006-07-31	12	3h15	208	204	87	128	194	93,3	95,1	165	164	159	148	141	143	138	v	v		
613	M	2006-08-18	12	2h25	208	204	93	133	190	91,3	93,1	176	172	166	156	153	152	146	v	v		
614	M	2006-07-30	18	1h31	202	200	92	113	166	82,2	83,0	152	154	143	139	134	132	130	v			
615	M	2006-07-30	16	1h46	204	201	98	137	176	86,3	87,6	171	170	164	163	160	159	152	v	v	v	
616	M	2006-07-30	16	5h21	204	201	83	131	187	91,7	93,0	181	178	166	164	157	157	150	v		v	
617	M	2006-07-30	14	5h21	206	202	89	134	184	89,3	91,1	173	170	159	151	149	147	142	v	v	v	
618	M	2006-08-06	12	2h29	208	204	87	120	190	91,3	93,1	170	167	160	147	139	135	131	v			

5.3.2 Température sub-linguale

L'analyse des températures sub-linguales ne porte que sur les cinquante (50) quarts de travail (sur 85) qui ont durée 3 heures et plus.

Le Tableau VII montre seulement trois cas où la température sub-linguale a atteint la limite de 37,5 °C à la fin du quart de travail (en caractère gras). Deux de ces cas concernent des sujets féminins (407 et 408). Dans ce dernier cas (sujet 408), le sujet présentait une température initiale de 37,8 °C qui s'est maintenue inchangée durant la période d'enregistrement de 3h54.

Les limites prévoient aussi une élévation maximale de la température corporelle de un degré celsius. Cette limite n'a été atteinte qu'à deux reprises, soit le sujet 407, dont la température est passée de 36,8 à 37,9 °C et le sujet 506 dont la température a grimpé de

Tableau VII. Synthèse des résultats portant sur la température sub-linguale et la sudation

Sujet	Sexe	Date	Âge	Durée de travail	Pertes Hydriques (litre)	pertes hydriques (% du poids)	Température initiale (°C)	Température finale (°C)	Variation de température (°C)
403	M	2004-06-30	21	4h05	n.d.		37,4	37,3	-0,1
403	M	2004-07-04	21	8h07	n.d.		36,8	36,8	0,0
404	M	2004-06-30	17	4h06	n.d.		36,2	36,5	0,3
404	M	2004-07-04	17	8h07	n.d.		36,2	35,9	-0,3
405	M	2004-06-30	16	4h05	n.d.		36,8	37,2	0,4
406	M	2004-07-04	17	8h06	n.d.		36,2	36,3	0,1
407	F	2004-07-22	15	4h04	1,035	1,9	36,8	37,9	1,1
408	F	2004-07-22	14	3h54	1,295	2,4	37,8	37,8	0,0
409	F	2004-07-22	13	3h36	0,925	1,5	36,8	36,9	0,1
410	F	2004-07-22	16	4h03	1,615	2,6	37,0	36,9	-0,1
501	M	2005-06-23	15	4h00	1,72	3,4	36,5	36,4	-0,1
501	M	2005-06-25	15	3h52	2,48	5	37,1	36,9	-0,2
501	M	2005-08-08	15	5h40	3,3	6,6	36,3	36,4	0,1
501	M	2005-08-17	15	4h08	1,68	3,4	36,5	36,2	-0,3
503	M	2005-06-25	15	3h52	2,21	4,2	36,7	36,7	0,0
506	M	2005-08-18	13	4h50	2,93	4,2	36,1	37,1	1,0
507	M	2005-08-09	12	3h52	1,07	2,4	36,5	36,9	0,4
508	F	2005-08-09	20	3h27	1,68	2,6	36,0	36,9	0,9
509	M	2005-08-09	17	3h12	2,2	3,6	36,4	37,1	0,5
510	M	2005-08-09	16	3h12	2,2	4,2	37,0	37,6	0,6
511	M	2005-08-08	16	5h22	3,3	6,5	36,2	36,8	0,6
511	M	2005-08-17	16	3h58	1,26	2,5	36,5	36,4	-0,1
512	M	2005-08-09	21	4h13	2,03	2,6	36,3	37,2	0,9
513	M	2005-08-18	23	4h06	1,34	1,8	36,4	36,4	0,0
601	M	2006-06-14	22	4h49	2,8	3,7	36,6	36,4	-0,2
601	M	2006-06-15	22	9h20	3	3,9	36,7	36,8	0,1
601	M	2006-06-19	22	5h06	1,2	1,6	36,1	36,9	0,8
602	M	2006-06-14	18	4h25	2,4	3,7	36,4	36,2	-0,2
602	M	2006-06-16	18	3h35	0,3	0,5	37,1	36,7	-0,4
602	M	2006-06-19	18	4h05	1	1,6	36,4	36,2	-0,2
603	M	2006-06-14	18	4h05	1,9	3,4	37,0	36,8	-0,2
603	M	2006-06-15	18	5h07	2,6	4,6	36,3	36,8	0,5
603	M	2006-06-16	18	3h35	0,7	1,2	36,8	36,3	-0,5
606	M	2006-06-19	17	3h55	1,6	3	36,3	36,1	-0,2
608	M	2006-06-16	15	3h35	0,5	0,8	37,1	36,7	-0,4
609	F	2006-06-19	21	4h07	1,6	2,5	36,1	36,2	0,1
610	M	2006-06-24	14	3h02	0,88	1,7	37,4	36,8	-0,6
611	M	2006-06-24	17	3h02	1,1	1,8	36,7	36,8	0,1
611	M	2006-07-31	17	3h15	2,6	4,3	36,8	37,4	0,6
611	M	2006-08-09	17	4h30	2,8	4,6	36,4	36,1	-0,3
611	M	2006-08-18	17	4h35	2	3,3	36,6	36,9	0,3
612	M	2006-06-24	17	3h02	0,9	1,8	36,6	36,3	-0,3
612	M	2006-07-31	17	3h15	1,5	3	37,1	37,3	0,2
612	M	2006-08-06	17	3h11	1,8	3,6	36,3	36,3	0,0
612	M	2006-08-09	17	4h30	1,6	3,2	36,7	37,1	0,4
612	M	2006-08-18	17	4h35	1,9	3,7	36,8	36,8	0,0
613	M	2006-06-24	12	3h02	1,31	2,6	37,7	37,3	-0,4
613	M	2006-07-31	12	3h15	0,7	1,4	36,2	37,0	0,8
616	M	2006-07-30	16	5h21	1,9	2,7	36,7	36,5	-0,2
617	M	2006-07-30	14	5h21	2,11	5,1	37,0	36,6	-0,4

36.1 à 37.1 °C. Dans ce dernier cas, la température finale n'a cependant pas atteint la limite supérieure de 37.5 °C.

5.3.3 Pertes hydriques

L'analyse des pertes hydriques ne porte également que sur les cinquante quarts de travail (sur 85) qui ont duré trois heures et plus.

La courte durée des quarts de travail explique que malgré une sudation abondante, les pertes hydriques n'atteignent la limite de 5% de la masse corporelle prescrite par ISO 7933 pour protéger 95% de la population que dans quatre cas. La durée de travail de ces cas se situe entre 5h20 et 5h40, sauf pour le sujet 501 qui a atteint cette limite à deux reprises, dont une fois en seulement 3h52 de travail. En aucun temps le second palier de 7.5 % pour protéger le travailleur moyen (ISO 7933) n'a été atteinte. Le déficit hydrique (pertes moins ce qui est réabsorbé) est faible dans tous les cas. Le fait de rendre facilement disponible des breuvages qui plaisent aux sujets a permis un haut taux de réhydratation.

6. DISCUSSION

6.1 Contrainte thermique

Puisque la situation étudiée déborde de l'application de l'indice WBGT, l'analyse de la situation n'a pas été faite sur la base de cet indice. D'ailleurs, Wasterlund (1996) proposait que le WBGT et les autres indices ne soient pas utilisés pour estimer la contrainte thermique en agriculture. Le fait que les sujets soient des adolescents et non des adultes, que le rayonnement soit important, qu'il soit impossible d'estimer le niveau d'acclimatement des sujets à la tâche et que l'horaire de travail ne soit pas de 8 h par jour fait en sorte que l'indice WBGT n'était pas approprié.

Néanmoins, à titre indicatif seulement, les valeurs WBGT démontrent la stricte nécessité d'instaurer un régime d'alternance entre le travail et le repos. Selon la version 2007 des TLV (ACGIH 2007), un travail physique très lourd commande 75% de repos dès que la température WBGT atteint 30 °C, 50 % dès que le WBGT atteint 28.0 °C. Or le travail d'engranger le foin est incontestablement un travail très lourd. Le Tableau V montre des valeurs au-dessus de ces limites autant à l'extérieur qu'à l'intérieur de la grange.

La température globe a été particulièrement élevée à l'extérieur. Les journées de travail étant ensoleillées, de telles valeurs étaient à prévoir. De plus, la température globe à l'intérieur confirme que le toit de tôle est une source de rayonnement dont il faut tenir compte. Le rayonnement du toit de tôle était important et les sujets le percevaient. Comme plusieurs chercheurs le mentionnent (Pandolf et al., 1979, Shapiro et al., 1988) une expérience en laboratoire ne pourrait pas simuler adéquatement le rayonnement observé.

La vitesse de l'air était pratiquement nulle à l'intérieur du bâtiment. Le fenil typique étant un endroit restreint entouré de quatre murs et n'ayant qu'une petite ouverture pour y laisser passer les balles de foin, l'air y circule très peu, d'autant plus que l'endroit n'est souvent pas ventilé mécaniquement. Également, la vitesse de l'air relative à la personne était pratiquement nulle puisque les mouvements corporels sont limités aux bras alors que les jambes et le tronc travaillent en statique, les jeunes ne transportent pas les balles de foin, ils les lancent. À l'extérieur par contre, le vent rendait généralement les conditions moins pénibles.

Le pourcentage d'humidité dans l'air semble d'abord dicté par les conditions météorologiques. Il ne semble pas y avoir de différences marquées entre l'humidité relative à l'intérieur et à l'extérieur de la grange, ce qui infirme l'hypothèse voulant que le foin vienne ajouter au niveau d'humidité à l'intérieur de la grange.

6.2 Astreinte thermique

6.2.1 Fréquence cardiaque

Les cardiotachymètres se sont montrés fiables et pratiques pour recueillir des fréquences cardiaques en continu dans ce milieu de travail comme ce fût le cas sous d'autres milieux (Meyer et al. 2001, Bernard et Kenney 1994), Sayers (1971). Dessureault et Doucet (2001) indiquent que la fréquence cardiaque est un indice plus prudent du fait que l'astreinte cardiaque est plus précoce que les deux autres domaines de l'astreinte thermique (température corporelle et sudation). Dans 61 enregistrements sur 85, au moins une limite cardiaque est atteinte; les limites atteintes sont multiples dans 42 cas sur 85. Dans tous les cas où une limite de température sublinguale ou encore de pertes hydriques a été atteinte, au moins une limite basée sur la fréquence cardiaque était également dépassée. Cette remarque exclue l'analyse de Brouha qui se montre trop alarmiste dans le contexte de cette étude.

Malchaire (1999) indique que la fréquence cardiaque est considérée comme le meilleur indice de récupération. En effet, il serait assez difficile de mesurer la récupération par la température sublinguale ou par les pertes hydriques du fait que leur temps de réaction est beaucoup plus long. Le fait que la fréquence cardiaque soit enregistrée en continu la favorise également.

Sur les enregistrements de fréquence cardiaque, les périodes d'efforts intenses sont facilement identifiables, représentées par des fréquences cardiaques plus élevées lorsque les adolescents sont affairés à engranger le foin, tel qu'illustré à la figure 3. Lorsque la pause arrive, la fréquence cardiaque chute abruptement. Le nombre de charges de foin engrangées durant un quart de travail peut pratiquement être déterminé sur l'enregistrement en comptant le nombre de vagues de tachycardie.

Nous avons déterminé les valeurs nécessaires à l'application de la méthode de Brouha (P_1 à P_5) par des repères inscrits sur le graphique. Le sujet devait appuyer sur un bouton du cardiotachymètre pour laisser un trait sur l'histogramme (voir Figure 3). Cette façon de faire ne permet cependant pas à l'individu de lire sa situation sur le champ. C'est donc une façon de faire pratique pour une recherche mais non comme outil auto-diagnostique. Pour utiliser la méthode de Brouha comme outil auto-diagnostique, il faut utiliser une montre et lire son pouls.

Fréquence cardiaque au repos

La fréquence cardiaque au repos a oscillé entre 61 et 108 battements par minute (Tableau VI). Typiquement, plus la fréquence cardiaque au repos est faible, plus la personne est en bonne condition physique. Les conditions physiques des adolescents qui ont participé à l'étude variaient largement d'un sujet à l'autre. Les sujets étudiés ne sont pas des athlètes et leur âge varie entre 12 et 21 ans à l'exception des trois sujets de 22, 23 et 35 ans. La fréquence cardiaque au repos a été prise sur le terrain et comprend certainement une hausse due à l'ambiance thermique chaude puisque le travail débute généralement en début d'après-midi. Aussi, les conditions étant différentes d'un quart de travail à l'autre, les valeurs de fréquences cardiaques de repos ont variées pour un même sujet.

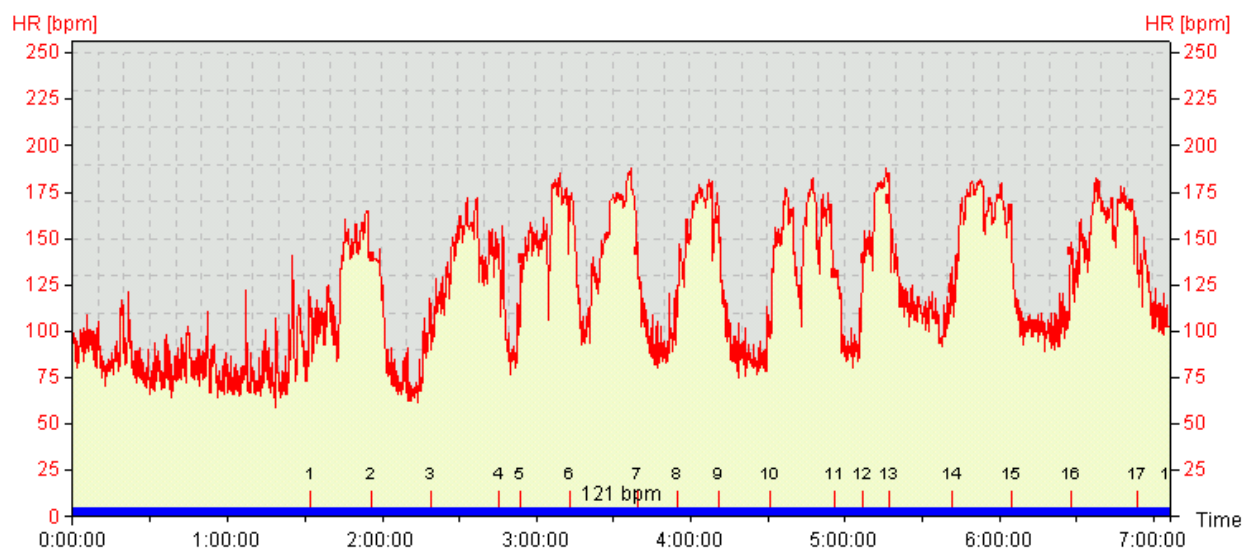


Figure 3. Enregistrement typique de la fréquence cardiaque lors d'un quart de travail

Fréquence cardiaque moyenne

La fréquence cardiaque moyenne a dépassée la limite de 120 bpm 71 % du temps sur l'ensemble des trois ans de l'étude (60/85). Cette limite a été proposée par Fuller et Smith (1981), parce que la valeur 110 proposée précédemment leur semblait trop restrictive. Le fait que la durée des quarts de travail soit inférieure à 8 heures et que les sujets soient jeunes explique que nous ayons retenu 120 bpm. La FC moyenne pourrait être ramenée en deçà de cette limite si les sujets prenaient plus de pauses, s'ils allongeaient celles qu'ils prennent déjà ou encore s'il ralentissaient la cadence. Cependant, la fréquence d'arrivée des charges de foin échappe au contrôle des jeunes et les producteurs apprécient que le déchargement se fasse sans tarder afin de retourner leur remorque à la presse à foin aussitôt que possible. La figure 3 illustre l'importance des pauses pour abaisser la fréquence cardiaque moyenne.

Il est intéressant de noter que sur les 25 enregistrements où la limite de 120 bpm n'a pas été atteinte, 23 ne comptent aucun dépassement à l'ensemble des autres limites cardiaques (maximale et MTAs). Seuls les sujets 501, 506 et 510 ont présenté chacun 1 cas où au moins une MTA était dépassée en maintenant une fréquence cardiaque moyenne inférieure à 120 bpm (117 bpm dans les trois cas). Il apparaît donc que la fréquence cardiaque pourrait être un indicateur prudent et très pratique du niveau d'astreinte cardiaque.

Les cas où la fréquence cardiaque moyenne a respecté la limite concernent généralement des conditions environnementales favorables. Le Tableau VIII ci-dessous montre ces valeurs de température WBGT à l'intérieur de la grange et à l'extérieur. Ces valeurs se situent dans la plage inférieure des ambiances thermiques observées telles que rapportées au tableau V.

Tableau VIII. Étude des cas où la FCmoyenne n'a pas atteint 120

Sujet	FC moyenne (bpm)	WBGT in (°C)	WBGT out (°C)
405	108	18.8	18.9
411	108	19.8	19.9
415	110	24.6	22.8
501	117	15.2	16.9
501	107	24.0	26.5
501	100	16.2	19.3
504	112	25.8	29.7
504	102	24.7	24.9
504	116	15.9	15.7
505	101	24.7	24.9
506	117	15.9	15.7
507	107	25.4	25.4
510	117	25.4	25.4
511	113	16.2	19.3
512	113	25.4	25.4
513	116	15.9	15.7
601	109	21.7	18.3
601	109	21.7	21.7
601	90	24.1	24.1
603	119	21.7	18.3
603	109	22.8	20.5
606	115	24.1	24.1
608	115	22.8	20.5
610	106	23.0	20.8
614	113	21.6	21.1

Fréquence cardiaque plafond

La fréquence cardiaque plafond a dépassé la limite de 90 % de la fréquences maximale dans 27 cas sur 85. Le plus souvent, les dépassements ont lieu selon l'un et l'autre des calculs de la fréquence maximale, ce qui laisse supposer que l'utilisation de l'une ou l'autre équation n'affecte guère les résultats.

Ces cas de dépassement se produisaient le plus souvent alors que le sujet effectuait la tâche de lancer les balles de foin à leur tombée du convoyeur dans la grange. Les sujets devaient alterner parce que le lancer des balles était plus exigeant que les autres tâches. Une rotation fréquente est alors primordiale pour ne pas dépasser les limites de fréquences cardiaques maximales.

« Moving-Time Average »

Puisque les calculs de MTA ne sont faits qu'à la fin du quart de travail sur ordinateur, ce paramètre ne pouvait donc pas être utilisé comme indicateur pendant le travail. Il permet

cependant de mieux situer l'astreinte cardiaque et de mesurer la performance d'autres indicateurs telles que la fréquence moyenne ou plafond.

Les MTA limites extrapolées selon l'âge des sujets ont été dépassés à plusieurs reprises. Ces dépassements ont eu lieu, à trois exceptions près, alors que d'autres limites cardiaques étaient dépassées sur le même enregistrement.

Méthode de Brouha et la composante thermique de la fréquence cardiaque

Dans le contexte étudié, les dépassements de la limite $P_1 < 110$ battements par minute étaient généralisés (Tableau VI). Seulement trois enregistrements ne montrent pas de dépassement. Cette situation laisse croire que la méthode de Brouha est inapplicable aux jeunes sujets sans avoir fait l'objet d'un ajustement. Le Guide de l'EPA (EPA 1993) retient la limite originale de 110 bpm pour l'ensemble des travailleurs en mentionnant que les enfants étaient moins résistants. L'ensemble des données de cette étude ne permet pas de recommander une nouvelle limite pour les 15 à 21 ans. O'Neil (1999) rapporte que les travaux miniers, de construction et de l'agriculture sont considérés comme les métiers les plus lourds, ce qui explique que la limite de P_1 soit si souvent dépassée.

Par contre, la récupération sur deux minutes calculée entre P_1 et P_3 respectait généralement la limite proposée de 10 bpm et était souvent bien plus élevée. Les cas où cette limite n'était pas respectée ne sont pas ceux où les autres indices de d'astreinte cardiaque montraient un niveau d'astreinte cardiaque sévère. Un non respect de cette limite suppose que la chaleur du corps ne se dissipe pas assez rapidement lors du repos (Bernard et Logan, 1999), or seulement un (sujet 613) des cinq cas où une limite sur la température corporelle a été atteinte (Tableau VII) a été également en non-respect de $P_1 - P_3 \geq 10$.

L'estimation des fréquences cardiaques d'origine thermique dépasse la limite de 30 bpm 52 fois sur le total de 85 enregistrements. Ce portrait est un peu surprenant considérant que les valeurs de température sub-linguale laissent voir peu de cas d'élévation significative et d'autre part, que les valeurs de fréquence cardiaque au repos soient elles aussi élevées. Ainsi, il semble que les sujets aient une fréquence cardiaque élevée lors du travail ($P_1 > 110$), récupèrent très bien dans les deux premières minutes d'une pause ($P_1 - P_3 \gg 10$), mais que la fréquence demeure alors élevée entre la troisième et la cinquième minutes.

L'approche de Brouha (1961) et de Vogt et Metz (1981) dans son ensemble constitue donc un outil prudent puisqu'elle indique des dépassements, dans le cas étudié, à tous les endroits où les MTA limites, la fréquence cardiaque moyenne, la fréquence cardiaque plafond et le débit sudoral indiquent des situations inacceptables. Cependant, pour les sujets de cette étude, les limites semblent trop restrictives. Aussi, plusieurs sujets ont de la difficulté à prendre leur pouls. Finalement, pour son application, les jeunes doivent prendre des pauses assise d'un minimum de 5 minutes sur place, or ils préfèrent se diriger tout droit au frais, boire et récupérer. Pour toutes ces raisons, cette méthode n'est pas retenue pour un programme d'autosurveillance.

6.2.2 Température sub-linguale

L'élévation des températures sub-linguales a atteint 1 °C en seulement deux occasions. Le sujet 407 montre une élévation de 1.1 °C avec une température finale inférieure à 38 °C (37.9 °C) (Tableau VII). Le sujet 506 a présenté une élévation de 1.0 degrés, mais passant de 36.1 à 37.1 °C, sa situation est donc tout à fait acceptable. Le sujet 510 échappe encore à la règle en ne présentant aucun dépassement de limites de fréquence cardiaque et atteignant la température finale de 37.6 °C.

Les températures sub-linguales en fin de quart ont toutes été inférieures à 38 °C, ce qui correspond à la limite de la température profonde de 38.5 °C que propose l'ACGIH dans les TLVs de 2007 (ACGIH, 2007). Aussi, plusieurs chercheurs (McNeil, 1999, Wyndham et al., 1965, Malchaire, 1999 et Griefahn, 1999) trouvent la limite de température profonde de 38 °C trop prudente. Dans cette étude, l'impact thermique du travail est donc beaucoup moins sévère que celui cardiaque.

Le gabarit modeste des sujets rendant le ratio surface/volume élevé pourrait expliquer cette faible élévation dans la température sub-linguale (Dennis et al., 1999). Ces sujets disposent d'une grande surface d'évaporation par unité de masse corporelle.

Plusieurs cas montrent une température finale plus basse que la température initiale. Ces chutes de température, heureusement modestes, sont difficiles à expliquer. Le sujet 610 montre la chute la plus marquée avec 0.6 °C. Dans ce cas, la température initiale était déjà élevée à 37.4 °C et l'ambiance thermique était très favorable avec des températures WBGT entre 20.8 et 23 °C (Tableau VII). D'autre part, tout au long de l'étude, il était aussi parfois difficile pour le sujet de respirer par le nez deux minutes avant la lecture de la température finale. L'exténuation et surtout l'enchifrènement dû à la poussière de foin rendent parfois cette consigne impossible. Ceci peut avoir affecté à la baisse les lectures prises en fin de travail.

6.2.3 Pertes sudorales

La norme ISO 7933 (ISO 2004) prescrit une perte sudorale maximum de 5 % de la masse corporelle pour protéger 95% de la population. Cette limite repose sur l'hypothèse que le taux de réhydratation est de 40% des pertes. Cette limite n'a été atteinte qu'en quatre occasions.

Le registre des breuvages de nos sujets montre un taux de réhydratation bien plus élevé que 40 %. En fait, il dépasse parfois les 100%, c'est-à-dire que les sujets buvaient des volumes supérieurs aux pertes hydriques par sudation. Cela s'explique du fait qu'il leur était offert, à chaque pause (et elles sont nombreuses) des fluides de remplacement et de l'eau à volonté, à une température d'environ 14 °C. Les fluides de remplacement sont très populaires chez les jeunes. Il est donc possible d'éviter la déshydratation en offrant ces breuvages, en alternance avec de l'eau, à chaque pause, à volonté et à des températures qui facilitent une absorption rapide. Le remplacement de fluides est important (Marriott, 1993, Marriott et Rosemont, 1994) et était fortement encouragé par l'équipe de recherche. Il était recommandé aux sujets de boire 50% d'eau et 50% de jus ou de fluides de remplacement, ce qu'ils ont fait en majorité. Certains sujets avaient une nette préférence pour les fluides de remplacement. Ces boissons contiennent sodium,

potassium et glucides et sont populaires parce qu'elles fournissent de l'énergie sans problème de digestion.

6.3 Autosurveillance

Sept sujets de la saison 2005 sont revenus à la saison 2006. Ces sujets avaient été rencontrés entre ces deux périodes pour évaluer ensemble les résultats de 2005 et recevoir les instructions concernant l'autosurveillance. Il est donc intéressant de voir l'impact de ces instructions sur les données de l'année 2006 pour ces sujets.

Le Tableau IX présente pour chaque sujet les enregistrements de la saison 2005 sur fond clair, et ceux de 2006 sur fond ombragé. Les résultats retenus sont ceux qui concernent la fréquence cardiaque car l'attitude du sujet impacte directement sur ce paramètre, non sur la sudation ou les températures corporelles.

Dans l'ensemble, moins de limites sont atteintes dans la saison 2006 (zones ombragées) (Tableau IX). Les sujets 510-606 et 512-601 ne montrent pas cette tendance puisque déjà en 2005, ils avaient su limiter leur niveau d'astreinte cardiaque à une hauteur acceptable. Pour les autres sujets, autant les valeurs de fréquence cardiaque moyenne, maximale que les MTA illustrent une tendance vers un niveau de contrainte moins élevé en 2006 laissant croire à l'impact positif de la formation sur l'autosurveillance.

Les adolescents font rarement l'objet d'études et aucune recherche sur les adolescents oeuvrant dans le secteur de l'agriculture au Québec n'a été trouvée. Wagner (1972) est le seul auteur recensé qui ait étudié l'astreinte thermique chez les adolescents. Pour la présente recherche, il a fallu extrapoler les limites MTA et utiliser des calculs de la fréquence maximale en fonction de l'âge afin de les adapter à des gens âgés de 20 ans et moins. Les jeunes travaillent avant cet âge et c'est pourquoi des limites qui incluent les adolescents sont nécessaires.

La fréquence cardiaque a une fois de plus démontré qu'elle était plus précoce que les domaines hydrique et thermique. La technique de Brouha demande que le travailleur puisse lui-même prendre son pouls, et qu'il prenne une pause assise sur les lieux même de travail. Avec les sujets de cette étude, il n'était pas facile de répondre à ces deux conditions. Par contre, la seule fréquence cardiaque moyenne aurait permis de déceler la quasi-totalité des cas où quelque limite était atteinte. Si on y ajoute la fréquence cardiaque maximale, ce sont tous les cas de dépassements qui sont décelés. Évidemment, pour être praticable en milieu de travail, un programme d'autosurveillance basé sur ces paramètres demande un cardiotachymètre. Heureusement, ces instruments se font de plus en plus accessibles. Au moment d'écrire ce rapport, il se trouve des modèles simples mais qui offrent ces deux valeurs (moyenne et fréquence instantanée) pour moins de 20 dollars! La limite de fréquence cardiaque moyenne retenue pour les jeunes sujets est de 120 bpm et la limite plafond est de 90 % de la fréquence maximale.

Tableau IX. Comparaison des saisons 2005 et 2006

Comparaison 2005-2006																		
Données Personnelles								RESULTATS										
								Fréquence cardiaque				MTA						
Sujet	Sexe	Date	Âge	Durée de travail	FC max 220-âge	FC max 195-0,67(âge-25)	FC repos	FC moy	FC Plaf	% max 220-âge	% max 195-0,67(âge-25)	MTA 5	MTA 10	MTA 20	MTA 30	MTA 45	MTA 60	MTA 90
505	M	2005-06-28	17	1h57	203	200	88	120	167	82,3	83,3	162	159	144	130	126	125	120
505	M	2005-08-16	17	2h09	203	200	70	101	147	72,4	73,4	138	131	114	109	109	106	105
614	M	2006-07-30	18	1h31	202	200	92	113	166	82,2	83,0	152	154	143	139	134	132	130
507	M	2005-08-04	12	2h44	208	204	84	131	182	87,5	89,3	173	169	160	147	147	141	139
507	M	2005-08-09	12	3h52	208	204	70	107	158	76,0	77,6	150	149	146	135	124	125	119
607	M	2006-06-15	13	2h20	207	203	75	121	166	80,2	81,8	153	147	136	136	134	129	125
508	F	2005-08-04	20	2h04	200	198	88	130	167	83,5	84,2	163	160	152	138	136	135	134
508	F	2005-08-09	20	3h27	200	198	90	133	182	91,0	91,8	177	171	154	151	145	145	139
609	F	2006-06-19	21	4h07	199	198	72	121	169	84,9	85,4	157	154	147	146	145	144	141
509	M	2005-08-04	17	2h49	203	200	92	136	199	98,0	99,3	195	192	178	164	160	156	148
509	M	2005-08-09	17	3h12	203	200	89	133	198	97,5	98,8	189	176	171	157	150	148	136
602	M	2006-06-14	18	4h25	202	200	89	129	177	87,6	88,5	166	163	152	153	145	141	134
602	M	2006-06-16	18	3h35	202	200	91	133	180	89,1	90,0	169	161	149	146	142	139	139
602	M	2006-06-19	18	4h05	202	200	84	123	159	78,7	79,5	148	145	142	139	137	135	134
510	M	2005-08-04	16	1h58	204	201	83	120	157	77,0	78,1	149	144	133	134	128	129	123
510	M	2005-08-09	16	3h12	204	201	74	117	171	83,8	85,1	167	161	159	148	135	135	130
606	M	2006-06-15	17	2h20	203	200	84	126	166	81,8	83,0	155	154	145	139	135	130	127
606	M	2006-06-16	17	2h20	203	200	89	128	160	78,8	80,0	158	154	143	141	138	137	133
606	M	2006-06-19	17	3h55	203	200	83	115	165	81,3	82,5	149	143	137	134	130	128	127
511	M	2005-08-08	16	5h22	204	201	95	138	179	87,7	89,0	172	169	163	154	150	148	146
511	M	2005-08-17	16	3h58	204	201	78	113	156	76,5	77,6	143	141	132	127	121	119	119
612	M	2006-06-24	17	3h02	203	200	84	127	167	82,3	83,5	161	160	146	142	136	134	135
612	M	2006-07-31	17	3h15	203	200	81	133	179	88,2	89,5	171	164	161	151	144	142	138
612	M	2006-08-06	17	3h11	203	200	88	133	179	88,2	89,5	168	167	161	152	144	143	138
612	M	2006-08-09	17	4h30	203	200	67	128	176	86,7	88,0	168	165	162	160	156	149	143
612	M	2006-08-18	17	4h35	203	200	92	129	154	75,9	77,0	149	146	144	138	138	135	132
512	M	2005-08-09	21	4h13	199	198	73	113	174	87,4	88,0	158	149	145	134	129	127	123
601	M	2006-06-14	22	4h49	198	197	74	109	161	81,3	81,7	146	138	135	132	123	120	115
601	M	2006-06-15	22	9h20	198	197	67	109	169	85,4	85,8	154	147	131	132	126	127	124
601	M	2006-06-19	22	5h06	198	197	64	90	134	67,7	68,0	122	114	107	105	102	100	98

La Figure 4 compare les MTA moyennes pour l'ensemble des sept sujets durant les saisons 2005 et 2006. Les valeurs MTA sur de courtes fenêtres de temps (5, 10 et 20 minutes) montrent une réduction appréciable en 2006 alors que les différences sont très minces pour des périodes de 30 minutes et plus. Bien que les différences soient plus faibles que l'erreur standard, cette Figure tend à démontrer que les sujets ont mieux étalé leurs efforts suite aux informations qu'ils ont reçues entre ces deux saisons.

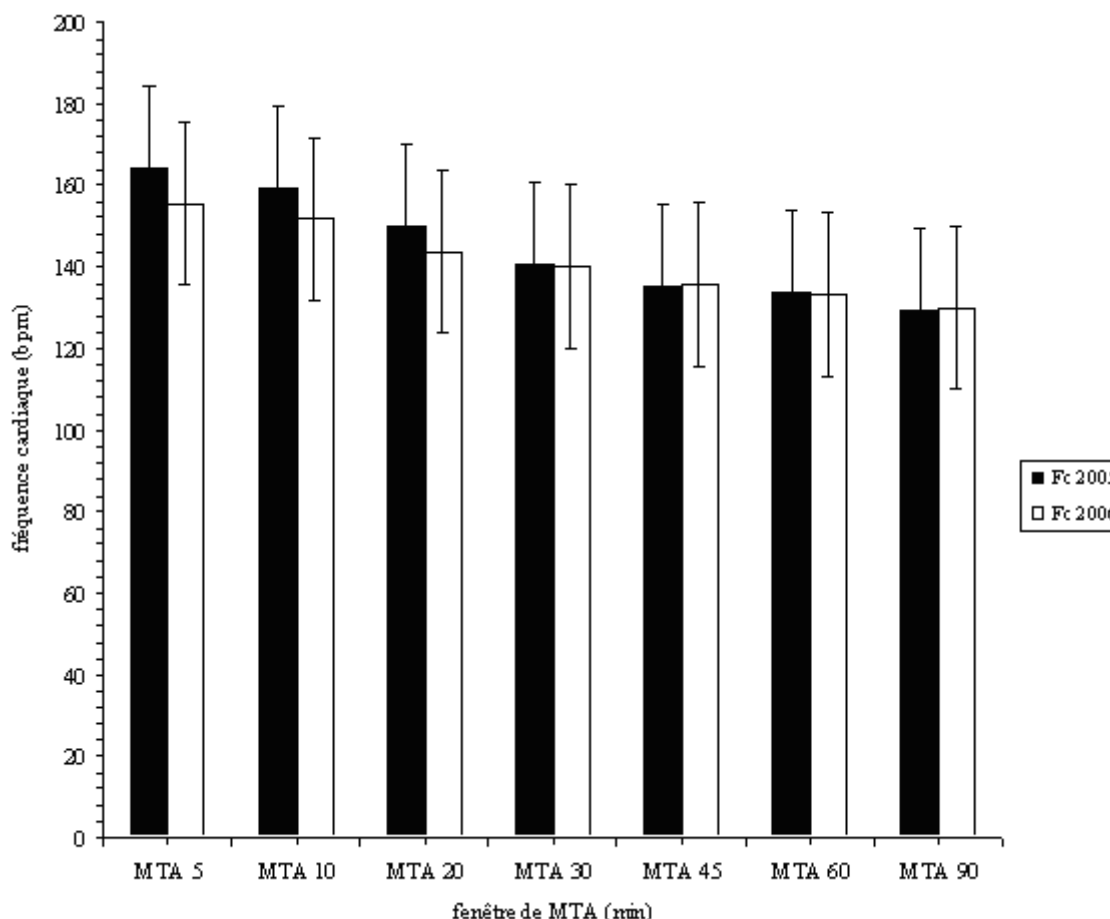


Figure 4. Comparaison des MTA enregistrées en 2005 et 2006

6.4 Surveillance médicale prévue par la réglementation

Autant la réglementation québécoise que les TLV de l'ACGIH renvoient à un monitoring physiologique lorsque l'indice WBGT n'est pas applicable ou encore lorsque la limite est dépassée. Le RSST ne précise en rien la nature de ce monitoring, l'ACGIH discute vaguement de quelques paramètres incluant la fréquence cardiaque, les températures corporelles, les symptômes et les pertes hydriques. La fréquence cardiaque est de loin le paramètre le plus pratique et, comme cette étude le démontre à nouveau, très généralement le plus précoce. De plus, certaines de ses limites peuvent être ajustées selon l'âge des travailleurs. Les limites basées sur l'astreinte thermique plutôt que la contrainte thermique sont plus sécuritaires car elles prennent en considération les variations individuelles.

7. RECOMMANDATIONS

L'utilisation de la simple fréquence cardiaque moyenne assure, à condition de ne pas dépasser 120 bpm, de limiter l'astreinte thermique à un niveau acceptable. Le suivi concurrent de la fréquence plafond ajoute à la prudence de la surveillance du travail en ambiance chaude.

7.1 Aux producteurs agricoles

Remettre l'engrangement des dernières charges de foin au lendemain en matinée. Cette mesure permet d'éviter les heures les plus chaudes de fin de journée pour y substituer les heures plus fraîches du matin. Le Tableau VIII démontre le faible niveau d'astreinte sous des valeurs WBGT inférieures à 25 °C.

Instaurer une rotation entre les affectations à l'extérieur et dans la grange, la tâche est parfois beaucoup plus ardue à l'intérieur. Aussi, alterner entre les diverses fonctions (lancer, placer le foin, etc.)

Rémunérer les jeunes sur une base horaire et non à forfait afin d'éviter cet incitatif à accélérer la cadence.

Fournir des breuvages à volonté, incluant de l'eau et des fluides de remplacement, à une température d'environ 15 °C et inciter les travailleurs à boire.

Accorder une pause entre chaque charge de foin, dans des endroits frais et ventilé.

7.2 À la communauté de chercheurs

Soutenir, par la recherche, l'utilisation des instruments qui deviennent très accessibles et qui peuvent trouver des applications très utiles en santé et sécurité du travail. Pour un, le cardiotachymètre permet un autodiagnostic de la charge physique de travail, sous ambiance chaude ou neutre, prudent et d'interprétation facile.

Étudier l'impact du travail chez les jeunes. Plusieurs se retrouvent sur le marché du travail à l'adolescence, dans des emplois qui les exposent souvent à de nombreux risques qui leur sont souvent inconnus. Nous devons trouver le moyen d'enseigner à ces jeunes à interpréter leurs réactions physiologiques au travail.

8. CONCLUSION

L'étude des pertes hydriques, de la température sub-linguale et de la fréquence cardiaque sur les 85 quarts de travail observés démontre que la fréquence cardiaque est plus précoce que les deux autres domaines de l'astreinte thermique. La température sub-linguale ayant atteint la limite de 37.5 °C en fin de quart qu'à trois reprises, et les pertes hydriques n'excédant les limites de 5 % de la masse corporelle qu'en quatre occasions, tous ces cas, à une seule exception, auraient été décelés par la fréquence cardiaque moyenne et instantanée. La fréquence cardiaque est donc le paramètre à privilégier. Son monitoring cependant doit tirer profit de l'accessibilité croissant des cardiotachymètres pour en répandre l'utilisation.

La méthode de Brouha n'est pas retenue pour deux raisons. D'abord, ses limites sont trop restrictives pour ces jeunes sujets et il n'est pas évident de les ajuster selon l'âge. Ensuite, elle suppose que le travailleur sache prendre son pouls, ce qui n'est pas la règle. Enfin, les pauses sont nombreuses mais courtes, ce qui incite les sujets à descendre se reposer au frais et boire plutôt que de demeurer sur place cinq minutes.

Reprenant chacun des objectifs spécifiques de l'étude :

1. Étudier la relation contrainte-astreinte du travail en ambiance chaude chez des travailleurs âgés entre 15 et 21 ans.

Cet objectif a été atteint puisque cette étude comprend 85 enregistrements dont 59 concernent des sujets entre 15 et 21 ans, l'objectif était d'en documenter une soixantaine.

2. Documenter les limites physiologiques généralement acceptées pour des adultes et proposer des valeurs adaptées à des jeunes de 15 à 21 ans.

Les valeurs de MTA ainsi que les fréquences cardiaques maximales ajustées en fonction de l'âge des sujets se sont montrées prudentes sans être trop restrictives.

3. Comparer les données de l'astreinte thermique avec les signaux psychologiques ressentis par les sujets, tels que déclarés sur une échelle d'estimation de la grandeur de la pénibilité ressentie.

L'idée d'utiliser une échelle de pénibilité ressentie a été abandonnée parce que l'utilisation d'une mesure psychométrique exige une absence totale d'influence. Or le contact étroit entre les sujets permettait des échanges nombreux sur la lourdeur du travail.

4. Caractériser les niveaux d'astreinte selon trois dimensions (cardiaque, hydrique et thermique) et vérifier que la dimension cardiaque atteigne les limites adaptées le plus précocement.

La fréquence cardiaque est le domaine le plus précoce et la simple fréquence cardiaque moyenne ressort comme indicateur simple et prudent.

5. Comparer les régimes de travail acceptables selon les limites physiologiques avec ceux obtenus par l'application de l'indice WBGT.

Très peu de limites physiologiques sont atteintes lorsque la température WBGT était inférieure à 25 °C (Tableau VIII), et plusieurs limites étaient atteintes au-dessus de cette limite. Il y a donc une cohérence entre ces deux approches.

6. Formuler des recommandations de moyens de réduction de la contrainte thermique pour le cas spécifiques de l'engrangement du foin.

Voir chapitre 7.

7. Définir un protocole d'autosurveillance de l'astreinte thermique basé sur la dimension la plus précoce et qui puisse être accessible à une majorité de travailleurs des secteurs de l'agriculture, des forêts et de la construction.

Le protocole demande l'utilisation d'un cardiotechymètre pour le monitoring de la fréquence cardiaque moyenne sur toute la période de travail, incluant les pauses et temps d'attente. Cet indicateur ne doit pas excéder 120 bpm dans le cas de jeunes travailleurs. La limite de 110 bpm peut mieux convenir à une population plus vieille. Les valeurs instantanées affichées par l'instrument ne doivent en aucun temps excéder 90 % de la fréquence maximale du sujet obtenue par : $220 - \text{âge}$.

8. Élaborer un document d'information destiné aux jeunes travailleurs de l'agriculture.

Abandonné puisque l'UPA n'a jamais participé au projet et que elle seule peut rejoindre ces jeunes travailleurs.

9. Mesurer le niveau d'appropriation et de conscientisation des travailleurs rejoints par le document durant la seconde année de l'étude par une appréciation qualitative de leur application des techniques retenues.

Le Tableau IX démontre une certaine baisse du niveau d'astreinte cardiaque chez les sujets qui avaient reçu les instructions après la saison 2005.

10. Jeter les bases d'une étude visant à préciser les exigences du RSST en terme de tolérance supérieure à la moyenne de certains travailleurs et de surveillance médicale.

L'ensemble de limites utilisé dans cette étude s'est avéré complet et peut constituer la base d'analyse de travailleurs de tous âges.

9. APPLICABILITÉ DES RÉSULTATS

Éducation et l'utilisation du programme

Cette recherche démontre la pertinence d'élaborer un programme d'éducation destiné aux producteurs agricoles et aux adolescents qui engrangent le foin. Le programme devrait les sensibiliser au niveau d'astreinte que ce travail exige, aux effets pathologiques dus à la contrainte thermique et aux mesures de prévention. La seule voie viable pour les rejoindre est à travers l'Union des producteurs agricoles. Une première démarche de cet organisme serait de prendre connaissance de cette étude, d'en saisir ses membres et de formuler quelques recommandations.

Le domaine cardiaque de l'astreinte thermique s'est avéré de nouveau le plus précoce à atteindre les limites recommandées. Qui plus est, certaines de ces limites peuvent être ajustés en fonction de l'âge des jeunes travailleurs, comme des travailleurs plus âgés. Cette même démarche pourrait donc servir, à l'opposé, d'outil de surveillance pour les populations plus âgées.

La principale contrainte de la surveillance proposée ici est de procurer des cardiotachymètres aux travailleurs. Cependant, ces instruments se font de plus en plus accessibles et intéressent les jeunes qui peuvent également les utiliser à d'autres fins.

Finalement, la même démarche pourrait être adaptée aux secteurs de la foresterie et de la construction.

RÉFÉRENCES

1. ACGIH. American conference of governmental industrial hygienists. Documentation on the Threshold limit values. 2007. Cincinnati, OH.
2. Ahonen, E., Venalainen, J.M., Kononen, U et Klen, T. The Physical Strain of Dairy Farming. Ergonomics, 1990, 33 (12), 549-1555.
3. Aoyagi, Y., McLellan, T.M. et Shephard, R.J. Interaction of Physical Training and Heat Acclimation. Sports Medicine, 1997, 23 (3), 173-210.
4. Armstrong, C.G et Kenney, W.L. Effects of Age and Acclimatation on Responses to Passive Heat Exposure. Journal of Applied Physiology, 1993, 75 (5), 2162-2167.
5. Åstrand, P.-O. et Rodahl, K. Textbook of Work Physiology (1^e éd.). New-York : McGraw-Hill Book Compagny, 1970.
6. Bernard, T.E., Dukes-Dobos, F.N. et Ramsey, J. D. Evaluation and Control of Hot Working Environments : Part II – The scientific Basis for the Guide. International Journal of Industrial Ergonomics, 1994, (14), 129-138.
7. Bernard, T. E. et Kenney, W. L. Rationale for a Personal Monitor for Heat Strain. American Industrial Hygiene Association Journal, 1994, 55 (6), 505-514.
8. Bernard, T.E. et Logan, P.W. Heat Stress and Strain in an Aluminium Smelter. American Hygiene Association Journal, 1999, 60 (5), 659-665.
9. Bevegard, S. et Shepherd, J.T. Regulation of the Circulation During Exercise in Man. Physiological Rev., 1967, 47, 178-213.
10. Bishop, P.A. Applied Physiology of Thermoregulation and Exposure Control dans DiNardi, R. The Occupational Environment – Its Evaluation and Control. New York : American Industrial Hygiene Association Press, 1994.
11. Brake, D.J. et Bates, G.P. Limiting Metabolic Rate (Thermal Work Limit) as an Index of Thermal Stress. Applied Occupational and Environmental Hygiene, 2002, 17 (3), 176-186.
12. Brouha, L. Physiology in Industry. Londre: Pergamon Press, 1960.
13. Charbonneau, J.-Y. Bilan été 2003 et réalisations novatrices de la CSST. Communication présentée au Colloque 2003 de l'Association des médecins du réseau public en santé au travail du Québec, Québec, Octobre 2003.

14. Dennis, S.C. et Noakes, T.D. Advantages of Smaller Bodymass in Humans When Distance-Running in Warm, Humid Conditions. European Journal of Applied Physiology, 1999, 79 (1), 280-284.
15. Dessureault, P.C. et B. Gressard. Cueillette de données et vérification de la concordance entre la température de l'air corrigé et l'indice WBGT sous des ambiances thermiques extérieures. IRSST. Rapport R-476. ISBN 978-2-89631-076-0. 2006.
16. Dessureault, P.C. Sécurité et hygiène industrielle - Compléments aux notes de cours. Trois-Rivières : Université du Québec à Trois-Rivières, 2002.
17. Dessureault, P.C. Résumé – Évaluation des indices de contraintes thermiques en mines profondes. Trois-Rivières : Université du Québec à Trois-Rivières, 2003.
18. Dessureault, P.C., Lyagoubi, J. et Couture, A. Modalités et limites d'utilisation d'un appareil de mesure rapide dans l'analyse de la contrainte thermique. Montréal : IRSST, 1997.
19. Dessureault, P.C. et Doucet, M. Étude analytique de la contrainte et de l'astreinte thermique dans les salles de cuves électrolytiques Soderberg. Trois-Rivières : Université du Québec à Trois-Rivières, 2001.
20. Dessureault, P.C. et Doucet, M. Étude des conditions de travail en ambiance chaude lors d'un accident. Trois-Rivières : CSST, 2002.
21. Dessureault, P.C. et Schreiber, L. Le travail en ambiance chaude : Favoriser l'évaluation de l'astreinte thermique et l'implication des travailleurs. Travail et santé, 1997, 13 (1), S-2.
22. EPA. A Guide to Heat Stress in Agriculture. U.S Environmental Protection Agency.. EPA-750-b-92-001. 1993.
23. Forsthooff, A., Mehnert, P. et Neffgen, H. Comparison of Laboratory Studies with Predictions of the Required Sweat Rate Index (ISO7933) for Climate with Moderate to High Thermal Radiation. Applied Ergonomics, 2001, (32), 299-303.
24. Fuller, F.H. & Smith, P.E. Evaluation of Heat Stress in a Hot Work-shop by Physiological Measurements. American Industrial Hygiene Association Journal, 1981, 42, 32-37.
25. Galloway, S.D.R et Maughan, R.J. Effects of Ambient Temperature on the Capacity to Perform Prolonged Cycle Exercise in Man. Medicine and Science in Sports and Exercise, 1997, 29 (9), pp. 1240-1249.
26. Garg, A., Chaffin, D.B. et Herrin, G.D. Prediction of Metabolic Rates for Manual Materials Handling Jobs, American Industrial Hygiene Association journal, 1978, (39).

27. Green, J.M., Clapp, A.J., Gu, D.L. et Bishop, P.A. Prediction of Rectal Temperature by Questemp II Personal Heat Strain Monitor Under Low and Moderate Heat Stress. American Industrial Hygiene Association Journal, 1999, (60), 801-806.
28. Harris, R.L. Patty's Industrial Hygiene Volume 2 (5e éd.) New York : John Wiley & sons, inc, 2000.
29. Héroux-Berthiaume, J. et Blouin, J. Doit-on choisir l'astreinte thermique ou l'indice WBGT ?. Le travail humain, 2001, 17 (1), 59-63.
30. ISO. Norme Internationale ISO 7933 Ergonomie des ambiances thermiques – Détermination analytique et interpretation de la contrainte thermique fondées sur le calcul de l'astreinte thermique prévisible. Deuxième édition. Genève. 2004.
31. Kaminaka, M.S. Research Needs in the American Agricultural Equipment Industry. Applied Ergonomics, 1985, 16 (3), 217-220.
32. Mairiaux, P. et Malchaire, J. Le travail en ambiance chaude (1ere éd.). Paris : Masson, 1990.
33. Mairiaux, P. et Malchaire, J., Comparaison and Validation of Heat Stress Indices in Experimental Studies. Ergonomics, 1995, 38 (1), 58-72.
34. Malchaire, J. Evaluation and Control of Warm Working Conditions. Biomed "Heat Stress" Research Project, Barcelona, 1999.
35. Malchaire, J. ISO / CD 7933: Ergonomics of Thermal Environment : Analytical Determination and Interpretation of Heat Stress Using Calculation of the Predicted Heat Strain (Preparatory). United Kingdom: ISO, 2000.
36. Malchaire, J. et al. Assessment of the risk of Heat Disorder Encountered During Work in Hot Conditions. International International Archive of Occupational Environmental Health, 2002, (75), 153-162.
37. Malchaire, J., Kampmann, B., Havenith, G., Mehnert, P. et Gebhardt, H.J. Criteria for Estimating Acceptable Exposure Times in Hot Working Environments: a Review. International Archives of Occupational Environmental Health, 2000, 73 (1), 215-220.
38. Malchaire, J., Rogowsky, M., Vanderputten, M. et Wallemacq, M. Évaluation de la contrainte de travail par enregistrement continu de la fréquence cardiaque dans une entreprise automobile. Le travail humain, 1986, 49 (1), 75-86.
39. McNeil, M.B. et Parsons, K.C. Appropriateness of International Heat Stress Indices for Use in Tropical Agriculture Environment. Ergonomics, 1999, 42 (6), 779-797.

40. Mehnert, P., Malchaire, J., Kampmann, B., Piette, A., Griefahn, B. et Gebhardt, H. Prediction of the Average Skin Temperature in Warm and Hot Environments. European Journal of applied Physiology, 2000, (82), 52-60.
41. Meyer, J.-P., Martinet, C. et Payot, L. Heart Rate as an Index of Thermal Stress. Psychology Journals, 2000, 5, 359-362.
42. Meyer, J.-P., Martinet, C., Payot, L., Didry, G. et Horwat, F. Évaluation de l'astreinte thermique à l'aide de la fréquence cardiaque. Le travail humain, 2001, 64 (1), 29-44.
43. Moran, D., Epstein, Y., Laor, A., Vitalis, A. et Shapiro, Y. Predicting Heart Rate Response to Various Metabolic Rates, Environments, and Clothing. Journal of Applied Physiology, 1995, 78 (1), 318-322.
44. Mudambo, K.S.M.T., Leese, G.P. et Rennie, M.J. Dehydration in Soldiers During Walking/Running Exercise in the Heat and the Effects of Fluid Ingestion During and After Exercise. European Journal of Applied Physiology, 1997, (76), 517-524.
45. Muir, H., Bishop, P.A., Lomax, R.G. et Green, J.M. Prediction of Rectal Temperature from Ear Canal Temperature. Ergonomics, 2001, 44 (11), 962-972.
46. Muller, B.H. et Hettinger, T. Influence and Assessment of Heat Radiation. Ergonomics, 1995, 38 (1), 128-137.
47. Murgatroyd, P.R., Shetty, P.S. et Prentice, A.M. Techniques for the Measurement of Human Energy Expenditure: a Practical Guide. International Journal of Obesity, 1993, (17), 549-568.
48. Myrtek, M., Fichtler, A., Strittmatter, M. et Brugner, G. Stress and Strain of Blue and Withe Collar Workers During Work and Leisure Time: Results of Psychophysiological and Behavioral Monitoring. Applied Ergonomics, 1999, 30 (1), 341-351.
49. NIOSH. The National Program for Occupational Safety and Health in Agriculture. project PB97-128599. U.S. Department of Health and Human Services. 1993.
50. O'Brien, C., Hoyt, R., Buller, M.J., Castellani, J.W. et Young, A.J. Telemetry Pill Measurement of Core Temperature in Humans During Active Heating and Cooling. Medicine & Science in Sports & Exercise, 1998, (10), 468-472.
51. O'Neil, D.H. Agriculture, dans Karwawski, W. International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors : Volume 3 (1e éd.). New York : Taylor & Francis, 1989.
52. Organisation Internationale de Normalisation ISO / CD 7933: Ergonomics of Thermal Environment : Analytical Determination and Interpretation of Heat Stress Using Calculation of the Predicted Heat Strain. United Kingdom: ISO, 1989.

53. Parson, K.C. Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate and Cold Environments on Human Health, Comfort and Performance. London: Taylor & Francis, 1993.
54. Peters, H. Testing Climate Indices in the Field. Ergonomics, 1995, 38 (1), 86-100.
55. Poitras, S., En santé sécurité au travail, il est temps d'agir! Uniform Ressource Location : www.opus3.com/forum, 2003.
56. Rastogi, S.K., Gupta, B.N. et Husain, T. Wet-bulb Globe Temperature Index : a Predictor of Physiological Strain in Hot Environments. Occupational Medicine, 1992, (42), 93-97.
57. Reneau, P.D. et Bishop, P.A. Validation of a Personal Heat Stress Monitor. American Industrial Hygiene Association Journal, 1996, (57), 650-657.
58. Samueloff, S. et Yousef, M.K. Adaptive Physiology to Stressful Environments (1^{ere} éd.). Floride: CRC Press Inc., 1987.
59. Sawka, M.N., Latzka, W.A., Matott, R.P. et Montain, S.J. Hydration Effects on Temperature Regulation. International Journal of Sport Medicine, 1998, (19), pp.S108-S110.
60. Sawka, M.N., Latza, W.A., Montain, S.J., Cadarette, B.S. Kolka, M.A., Kraning, K.K. et Gonzalez, R.R. Physiologic Tolerance to Uncompensable Heat : Intermittent Exercise, Field vs Laboratory. Medicine & Science in Sports and Exercise, 2000, (1), 422-429.
61. Sawka, M.N., Young, A.J., Latzka, W.A., Neuffer, P.D. et Quigley, M.D. Human Tolerance to Heat Strain During Exercise : Influence of Hydration. Journal of Applied Physiology, 1992, 73 (1), 368-375.
62. Sayers, B. Analysis of Heart Variability. Ergonomics, 1973, 16 (1), 17-32.
63. Sjodin, A., Forslund, A., Webb, P. et Hambraeus, L. Mild Overcooling Increases Energy Expenditure During Endurance Exercise. Medicine & Science in Sports, 1996, (6), 22-25.
64. Terminarias, A., Flore, P., Oddou-Chirpaz, M.F., Gharib, C. et Gauquelin, G. Hormonal Responses to Exercise During Moderate Cold Exposure in Young vs Middle-aged Subjects. American Physiological Society, 1992.
65. Vogt, J.J. et Metz, B. Ambiances thermiques, dans : Scherrer J. et al., 217-263. Précis de physiologie du travail, notions d'ergonomie (2^e éd.), Masson : Paris, 1981.
66. Wasterlund, D.S. A Review of Heat Stress Research with Application to Forestry. Applied Ergonomics, 1996, 29 (3), 179-183.

67. Wilson, T. Reducing Runner's Risk in Sudden Hot/Humid Weather Wilson's Hot Weather Heuristic. Contemporary Ergonomics, 1996, 202-207.
68. Wisner, A. Ergonomie et Agriculture, Colloque Travail et agriculture, Paris, 1996.