

BULLETIN de la



SOCIÉTÉ DES SCIENCES MÉDICALES
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

Fondé en 1864

2/01

Ambiance chaude: Mise en place du projet WBGT à l'Armée luxembourgeoise.

Charles Bonert*
Francis Massen**

The Luxembourg Army needed an objective measure of outside heat-stress conditions; in a joint work with the meteorological station of the Lycée Classique Diekirch an automatically working facility which measures and publishes in near-realtime the wet bulb globe temperature (WBGT) on the internet was installed. This equipment enables the medical service of the army to issue a new permanent operational order limiting the physical work and specifying the necessary water intake according to the heat stress.

Keywords: heat-stress, WBGT, Luxembourg Army, meteoLCD

1. Définitions

Une **ambiance** est dite **chaude** lorsque les pertes caloriques passives du corps humain sont inférieures à la production interne de la chaleur: seule la mise en jeu de la sudation peut assurer l'équilibre thermique.[1] À condition que

l'air ambiant ne soit pas saturé en vapeur d'eau, 1 gramme d'eau évaporée par sudation permet d'éliminer 0.6 kcal (= 2.5 kJ). Pour mesurer une ambiance thermique à l'extérieur quatre paramètres de base doivent être connus: la température de l'air, l'humidité de l'air, l'irradiation solaire et la vitesse de l'air.[2]

L'**inconfort thermique** définit les ambiances qui font varier la température centrale de moins de 0.5 degrés Celsius. La **contrainte thermique** induit une variation plus importante de la température centrale ou encore une sollicitation prolongée des mécanismes physiologiques de régulation à l'origine d'une fatigue excessive de l'individu.

Rappelons que l'homme est un homéotherme: sa température centrale est stable, en dépit des variations de la température extérieure. Le centre de la thermorégulation est situé dans l'hypothalamus.

* Dr Charles BONERT, Service Médical, Armée luxembourgeoise,
Caserne du Herrenberg B.P. 166, L-9202 Diekirch, tel: 80 88 44 309 fax: 80 94 74
email: tsebo@pt.lu

** Prof. Francis MASSEN, Laboratoire de Physique,
Lycée Classique Diekirch, 32 av. de la gare, L-9233 Diekirch,
email: francis.massen@ci.educ.lu

2. Historique de la réglementation en vigueur à l'Armée luxembourgeoise

L'Ordre Permanent du Centre d'Instruction Militaire (OP CIM) 312-9 en vigueur jusqu'à mi-juin 2001 était formulé de la façon suivante:

«Limitation des activités physiques et sportives

a. But

Le présent OP a pour but de régler les détails relatifs à une limitation des activités physiques et sportives en cas de températures extérieures et/ou de valeurs d'ozone élevées pendant la période d'été.

b. Responsabilités

Pendant les périodes de grande chaleur, le Médecin de l'Armée (MédA) ou en cas de son absence le Médecin Militaire (MédMil) journallement décideront de la limitation éventuelle des activités physiques et sportives et transmettront leurs recommandations à l'Officier responsable de l'Instruction et de la Sécurité (Offr Instr/Secu) pour 0900 Hr.

c. Définitions

1. Généralités

En général, la pratique des activités physiques et sportives n'est pas limitée avant 1200 Hr. L'application des limitations porte essentiellement sur la période entre 1200 Hr et 1900 Hr.

2. Stade VERT

La pratique de toutes les activités physiques et sportives se trouvant sur le programme d'instruction des unités est autorisée.

3. Stade ROUGE

Sont défendus: Marche Forcée, Cross, Piste d'Obstacles (contre la montre), Test de Condition Physique.

Sont autorisés, sans demander un effort physique excessif: Marche, Natation, Cross promenade, Parcours naturel, Gymnastique, Sports de combat, Jeux et sports, Technique de la Piste d'Obstacles.

d. Exécution.

Journellement pour 0900 Hr le Service Médical (SvMéd) transmettra un certificat indiquant les limitations éventuelles des activités sportives signé par le MédA ou le MédMil au bureau Instr/Secu CIM.

L'Offr Instr/Secu fera publier le stade respectif par voie de l'Ordre Journalier (OJ) CIM.

Les commandants d'unité feront parvenir les changements éventuels à faire au programme d'instruction de leur unité au bureau Instr/Secu CIM dans les meilleurs délais.»

L'Armée était donc consciente du fait que le climat pouvait blesser un homme. En toute logique elle avait essayé de réglementer les conduites à tenir en responsabilisant les médecins militaires. Mais il ne restait à ceux-ci que de se fier à leur bon sens et d'être prudents. Ils étaient par exemple supposés connaître à 0900 heures du matin le temps qu'il aurait fait l'après-midi. Aucun critère objectif ne leur permettait de prendre une décision fondée.

L'OP CIM en question limitait les activités physiques des soldats par rapport à une température extérieure (non

précisée) et par rapport à une concentration d'ozone atmosphérique (non précisée). Le Médecin de l'Armée ou le Médecin Militaire devaient donc signer des stades (vert ou rouge) qui ne furent jamais clairement définis. Par prudence les médecins avaient intuitivement posé la limite de séparation entre les stades vert et rouge à 25°C.

Le 09 mai 2000 le commandement du Centre Militaire intervient «*afin de faire parvenir avant le 02 juin 2000 au Comd CM une proposition pour modifier l'OP CM en annexe*».

Le 13 mai 2000, le MédMil répond: «*...Revenons à notre OP CM. L'influence du climat...est beaucoup trop complexe pour ne la décrire que par deux stades: rouge ou vert, basés sur une mesure de la température extérieure et sur des capacités prévisionnelles aléatoires...Il existe un système de mesures appelé **WBGT**....*».

3. Le Projet WBGT.

(Wet Bulb Globe Temperature)

Pour les besoins de l'Armée américaine, YAGLOU et MINARD développent un indice, essayant de globaliser l'influence thermique externe sur l'homme. Déjà entre les deux guerres ils travaillaient sur ce concept. En 1972, le très officiel «National Institute for Occupational Safety and Health» (NIOSH) recommande l'application de cet indice dans les entreprises. [3]

L'indice WBGT constitue le critère d'évaluation adopté pour la protection des travailleurs dans la législation du travail de plusieurs pays industrialisés

(Belgique, Finlande, Japon, USA) et il fait l'objet de la norme internationale **ISO 7243**.

Selon cette norme l'indice peut être utilisé pour:

- apprécier le caractère tolérable ou non du travail dans la situation étudiée: l'indice WBGT constitue donc un outil de dépistage de la contrainte.
- organiser l'alternance des périodes de travail et de repos lorsque les valeurs limites sont dépassées. [1]

Militaire au départ, le système WBGT est devenu une notion civile, pour être récupéré finalement par l'Armée.

Comme d'un point de vue médical une hydratation adaptée est la meilleure protection contre les effets d'une contrainte thermique, les hygiénistes militaires américains ont élaboré une grille de conduite qui définit non seulement la durée des cadences de travail et de repos mais également les quantités d'eau à boire. La dernière mise à jour de cette grille fut publiée en avril 1998 par le Surgeon General du WALTER REED ARMY MEDICAL CENTER (WRAMC) de Washington:

La catégorisation militaire du WRAMC:

1. Travail léger ou facile:
(jusqu'à 200 kcal/h ou 837 kJ/h)
- Maintenance des armes
 - Marcher sur une surface dure à une vitesse de 4km/h avec une charge de moins de 13,5kg
 - Maniement des armes
 - Exercices de tir
 - Drill et cérémonies

2. Travail modéré:

(200-350 kcal/h ou 837-1465 kJ/h)

- Marche sur sable sec à une vitesse de 4 km/h sans charge
- Marche sur une surface dure à une vitesse de 6 km/h avec une charge de moins de 18 kg
- Culture physique
- Patrouilles
- Tactique individuelle
- Construction de positions défensives
- Attaques

3. Travail lourd (ou difficile):

(350-500 kcal/h ou 1465-2093 kJ/h)

- Marche sur une surface dure à une vitesse de 6 km/h avec une charge de plus de 18 kg
- Marche sur sable sec à une vitesse de 4 km/h avec charge.

Nous avons ensuite adapté cette catégorisation militaire américaine aux besoins de l'Armée luxembourgeoise. Le concept théorique était donc en place.

Dans [4] nous trouvons le commentaire suivant: «*Unfortunately the WBGT Index is not reported by radio and weather stations, and is generally not well known, even though it has been in use for over forty years*».

Cette situation était également celle du Luxembourg, et il a fallu trouver un moyen pour pouvoir mesurer professionnellement l'indice WBGT et le diffuser d'une façon fiable.

La station météorologique du Lycée Classique de Diekirch (**meteoLCD**) mesure le (micro)-climat qui règne dans les environs de Diekirch, lieu

privilegié des activités «out-door» des volontaires de l'Armée. Ses mesures sont publiées en temps quasi réel sur Internet. [7]

Jusque maintenant cette station ne disposait pas de l'appareillage technique nécessaire pour être à même de réaliser les mesures WBGT. L'Armée le lui a mis à disposition. Un deuxième appareil, Questemp15, portable, se trouve au SvMéd et peut servir de poste de secours en cas de panne de l'installation fixe ou comme poste de contrôle de la qualité des mesures. Les comparaisons des mesures faites jusqu'à ce jour donnent une concordance très satisfaisante.

A notre connaissance la station **meteoLCD** est la seule station luxembourgeoise qui mesure et diffuse actuellement cet indice. Le service médical de l'Armée reprend les mesures et les transmet aux responsables via le réseau informatique de l'Armée.

Le nouvel OP CM a été adapté en juillet 2001 [voir annexes A et B].

4. Le confort thermique vu par le physicien

4.1. Modélisation

Pour un physicien, le corps humain est un système soumis à des flux thermiques entrant et sortant. L'équilibre thermique correspond à une somme algébrique nulle de ces flux.

Flux thermiques entrants:

- Chaleur reçue de l'environnement (essentiellement de l'air ambiant) par conduction et/ou par convection

- Chaleur radiative reçue du soleil (ou de surfaces chaudes)
- Chaleur dégagée à l'intérieur du corps par le métabolisme de base et le travail mécanique fourni par le sujet

Flux thermiques sortants:

- Chaleur cédée à l'air ambiant par conduction et convection
- Chaleur cédée par évaporation (exhalation, sueur)

Chacun de ces flux est variable et dépend des conditions météorologiques du moment, de l'habillement et du travail fait par le sujet. Fanger [8] a établi un modèle mathématique incorporant ces paramètres («Behaglichkeitsgleichung nach Fanger») et fournissant un nombre appelé PMV (predicted mean vote), où $PMV = 0$ représente une situation où personne ne se plaindrait d'inconfort thermique. Des valeurs négatives du PMV correspondent à une sensation thermique de trop froid, des valeurs positives à une sensation de trop chaud. En couplant l'équation de Fanger aux flux radiatifs du soleil, Jendritzky [9] et al. ont construit le fameux modèle du «Klima-Michel», utilisé en architecture urbaine et suggéré également comme modèle à appliquer par le «Amt für Wehrgeophysik» de l'armée allemande [10].

Les problèmes de mesure des différents paramètres entrant dans ce modèle sont formidables, et exigent des simplifications drastiques (p.ex.: corps humain = cylindre surmonté d'une sphère, orientation particulière, par rapport au soleil, sujet = homme-norme répondant à des

caractéristiques précises et fixes de masse, taille, surface corporelle, coefficient d'absorption pour le rayonnement solaire, coefficient d'émission de la peau...). Un logiciel relativement élaboré est nécessaire pour calculer le PMV, et l'acceptation de cette méthode lourde, aussi séduisante qu'elle soit d'un point de vue purement scientifique, est faible. (Citation [10]: «eine vorliegende Wertung aus der Beratungspraxis gipfelte in dem Hinweis, dass die Aussagen des Modells nur zur Belustigung beim Briefing taugen»).

4.2. Nécessité d'un indice synthétique simple

Il est évident qu'une situation de stress thermique s'établit si les flux thermiques sortants sont trop faibles, et si en conséquence la température interne du corps humain s'accroît dangereusement. Cette situation est à craindre si l'évaporation est trop réduite, ce qui est le cas par temps humide, chaud et sans mouvement de l'air.

Au moins huit indices simples permettant de reconnaître (et d'éviter) les situations de stress thermique excessif ont été introduits par les services météorologiques [11]: Humisery, Humidité, Temperature-Humidity Index, Sultriness Factor, Simmer Index, Discomfort Index, Heat Index....

L'humidité est défini par exemple par **humidité (°C) = 0.5 (T_{db} + T_{wb})** où T_{db} est la température mesurée par un thermomètre sec (dry bulb) et T_{wb} celle donnée par un thermomètre à mèche humide (wet bulb).

L'indice humidex a été introduit au Canada à partir de 1965; il est défini par:

Humidex (°C) = $T_{db} + 5/9 * (e_a - 10)$ où e_a est la pression de vapeur en hPa.

Si on connaît le point de rosée (= dewpoint) l'expression devient:

$$humidex = air_temp + 0.5555 * \left[6.11 * e^{\frac{5417.500}{273.15 - temp}} - 10 \right]$$

Des valeurs supérieures à 45 sont considérées comme dangereuses, et à partir de 54 un choc hyper thermique est imminent.

On voit tout de suite que plusieurs facteurs météorologiques importants n'entrent pas en compte dans ces indices: ni l'intensité du rayonnement solaire, ni la vitesse du vent ne sont retenues, bien qu'il soit évident qu'une forte irradiation solaire ne peut qu'aggraver une situation d'inconfort, tandis qu'un vent sensible peut la rendre plus supportable.

L'armée américaine a introduit déjà dans les années 50 un indice synthétique appelé **WBGT** (Wet Bulb Globe Temperature) qui comprend essentiellement les mesures de 3 thermomètres différents, réagissant chacun de façon plus ou moins importante sur un ou plusieurs paramètres météorologiques fondamentaux.

- Un premier thermomètre (abrité des rayons du soleil) mesure la température de l'air: c'est la température du bulbe sec (DRY BULB TEMPERATURE).
- Un deuxième thermomètre est monté à l'intérieur d'une sphère en cuivre de 150mm de diamètre, peinte en

noir (coefficient d'émission 0.98): sa température dépend évidemment de celle de l'air ambiant, mais surtout de l'intensité du rayonnement solaire et des conditions de vent. La température d'équilibre qui s'établit après environ 20 minutes correspond à une situation d'équilibre complexe entre les flux thermiques entrants (rayonnement du soleil, rayonnement infrarouge de l'atmosphère...) et sortants (refroidissement convectif par le vent, dépendant de la vitesse du vent et des conditions d'humidité de l'air ambiant). Cette (black) GLOBE TEMPERATURE sera pratiquement toujours supérieure à la température de l'air ambiant.

- Finalement un troisième thermomètre est recouvert par une mèche en coton constamment humide, et exposé tel quel aux mouvements de l'air. C'est cette WET BULB TEMPERATURE qui jouera le plus grand rôle. En effet, par temps humide et chaud, l'évaporation et donc le refroidissement qui l'accompagne seront relativement faibles, et l'écart entre la température de ce thermomètre humide et celle de l'air sera faible. Par temps sec et chaud par contre, la température du Wet Bulb pourra être très inférieure (p.ex. de 10°C ou plus) à celle de l'air ambiant. Le Wet Bulb n'est pas un psychromètre: dans cet appareil (utilisé pour la mesure de l'humidité de l'air) un thermomètre sec est comparé à un thermomètre humide soumis à une convection d'air forcée, et abrité du soleil. Tel n'est pas le cas ici: la «natural wet temperature» correspond à un refroidissement «naturel» provoqué par les

mouvements de l'air, et dépendant de la pression de vapeur actuelle, de la vitesse du vent, etc.

On voit donc que les températures du globe et de la mèche humide sont des indicateurs simples de situations complexes!

L'indice WBGT pour l'extérieur («outdoor WBGT») est défini par:

$$\text{WBGT} = 0.7 \cdot \text{WBT} + 0.2 \cdot \text{GT} + 0.1 \cdot \text{DBT}$$

où WBT = wet bulb temperature, GT = globe temp. et DBT = dry bulb temp.

Il est important de remarquer l'influence dominante du WB!

L'avantage du WBGT par rapport au modèle complexe du Klima-Michel est double:

- c'est un indice transparent, facile à comprendre intuitivement
- c'est un indice facile à mesurer

Le désavantage est que l'indice lui-même est sans utilité, s'il n'est pas mis en rapport avec des situations réelles de stress thermique. Or ce «calibrage empirique» a été réalisé par l'armée américaine et d'autres instances [13] depuis longtemps, et il est constamment revu et adapté à des situations différentes (p.ex. aux conditions dans la nacelle d'un avion de combat, aux vêtements spécifiques...).

4.3. La mesure du WBGT par meteoLCD

La station météorologique du Lycée Classique de Diekirch est une station automatique spécialisée dans les mesures du rayonnement solaire (irradiation totale, UVB, UVA) et des

gaz atmosphériques (O_3 , NO_x , CO_2). Les mesures sont actualisées deux fois par heure et disponibles en temps quasi réel sur Internet [7]. Les instruments de mesures se trouvent dans un local situé sur le toit de la nouvelle aile («terrain LORTZ») du LCD. Trois thermomètres DB, WB et GB de la marque BABUC (fabriquant: LSI Laboratori di Instrumentazione Industriale s.p.a) ont été montés sur le toit[fig.1].

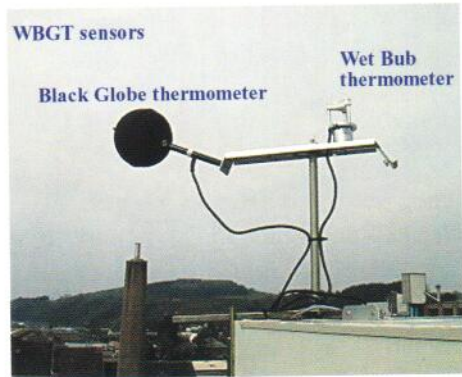


Figure 1: Photographie de l'installation WBGT montée sur le toit du LCD

La réserve de 50 cm³ d'eau distillée du WB donne une autonomie de 2 à 3 jours. Un système comprenant une pompe péristaltique et une horloge programmable permet une alimentation régulière en eau distillée, donc un fonctionnement en continu sans interventions itératives. Le WBGT est calculé par le logiciel qui assure le fonctionnement de la station, et il est affiché graphiquement avec les autres paramètres climatiques [fig.2]. Ceci permet de suivre l'évolution au cours de la journée, et de voir celle des journées précédentes. Ce système a été mis en route en mai 2001 après environ 6 mois de recherches et de tests préliminaires.

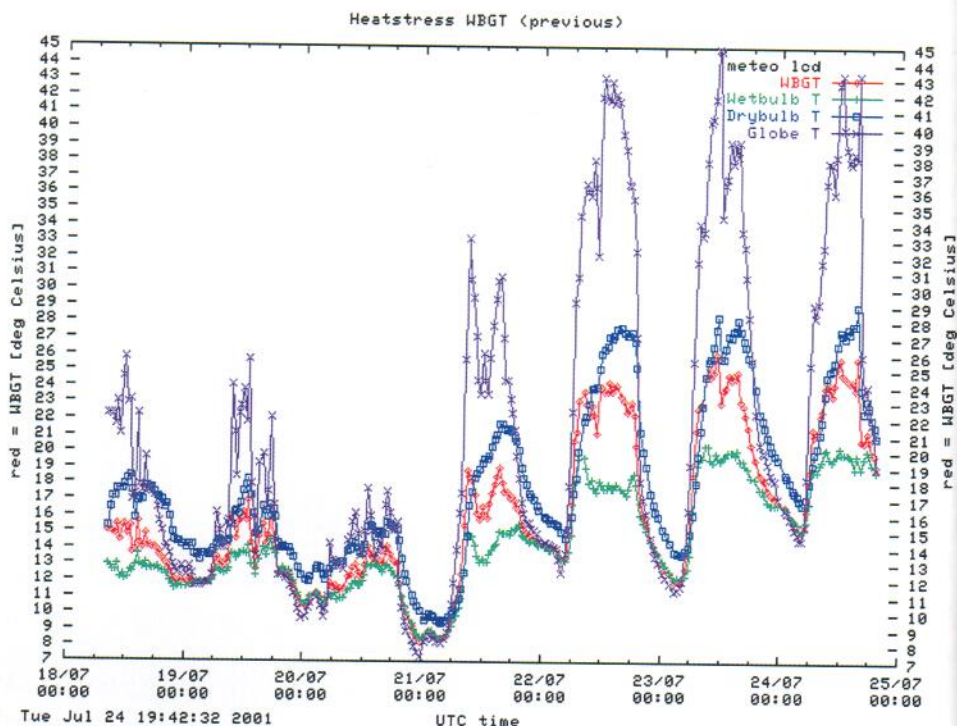


Figure 2: Graphique montrant l'évolution hebdomadaire du WBGT et des températures qui entrent en compte

On pourrait se poser la question, si le calcul du WBGT ne pouvait pas se faire sans avoir recours à ces thermomètres spécialisés. La réponse est «oui... mais». Chuck HUNTER de la WESTINGHOUSE SAVANNAH RIVER Co. a publié[14] une étude «Estimating Wet Bulb Globe Temperature using Standard Meteorological Measurements», dans laquelle il montre qu'une modélisation très poussée permet d'estimer la WBT et GT. L'estimation de la WBT repose cependant sur un calage empirique que les auteurs n'ont pas pu reproduire à partir des données mesurées à Diekirch, et sur des calculs complexes pour trouver la GT. Une correspondance avec M. HUNTER a

finalement convaincu cet auteur que l'utilisation de thermomètres DB, WB et G était de loin la solution la plus immédiate et la plus transparente.

Références:

- [1] Ph. Mairiaux et J. Malchaire: Le travail en ambiance chaude. Collection de Monographies de Médecine du Travail, 1990, Masson.
- [2] Institut Universitaire de Médecine du Travail de Rennes: Les ambiances thermiques. http://www.med.univ-rennes1.fr/etud/med_travail/ambiances_thermiques.htm

- [3] Prof. Dr Christophe De Brouwer, ULB, Ecole de Santé Publique, Laboratoire de Santé au Travail et de Toxicologie du Milieu, Cours et séminaires en ligne: Ambiance de travail et Contraintes humaines: la Chaleur. (année 1999 à 2000)
<http://www.ulb.ac.be/esp/lsttm/coursenligneecdb.html>
- [4] <http://www.afcintl.com/heatapp3.htm>
- [5] Ministère du Travail de l'ONTARIO (Canada): Contrainte thermique.
<http://www.gov.on.ca/LAB/ohs/heatf.htm>
- [6] PD Dr. Höpfe: Wirkung von Ozon in umweltrelevanten Konzentrationen auf die Lungenfunktion und Reizempfindungen.
<http://www.med.uni-muenchen.de/arbmed/forsch.htm#ozon>
- [7] http://www.restena.lu/meteo_lcd/
- [8] VDI Richtlinien: Umweltmeteorologie: Methoden zur human-meteorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil 10: Klima. VDI 3787 Blatt 2, 1998
- [9] Jendritzky, G., Menz G., Schirmer H., Schmidt-Kessen W.: Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschrittenes Klima-Michel Modell). Beiträge der Akademie f. Raumforschung und Landesplanung, Bd. 114, Hannover 1990
- [10] Aufm Kampe, W.: Das Klima-Michel Modell im Dienst der Bundeswehr. Interner Bericht No. 98115, Traben-Trarbach, 1998
- [11] Geography 373: Applied Climatology. University of Victoria-Spring 2001 Term Lecture 11: Heat Impacts on Human Health - Weather Indices
- [12] http://www.physlink.com/reference_weather.cfm
- [13] Working in the Heat. MG022, July 1999. Workplace Health and Safety Bulletin. Alberta Human Resources and Employment. 1999
- [14] Hunter, Aiken, Minyard: Estimating Wet Bulb Globe Temperature using Standard Meteorological Measurements. Charles H. Hunter, Westinghouse Savannah River Co., Aiken and C. Olivia Minyard, College of Charleston.
<http://ams.confex.com/ams/annual2000/2environment/abstracts/6464.htm>

Annexe B.: OP CM 312-09

Adaptation des activités physiques et sportives

a. But

Le présent OP a pour but de régler les détails relatifs à une adaptation des activités physiques et sportives aux conditions climatiques estivales.

b. Responsabilités

Du 01 mai au 30 septembre, le Médecin de l'Armée ou en cas de son absence le Médecin Militaire diffuse par courrier électronique 2 fois par jour

(1000 et 1310) les indices WBGT (en degrés Celsius) et, si nécessaire, la concentration de l'ozone au personnel repris en annexe a. Le message de **1000 Hr** est valide de **J 1000** à **J 1310** et de **J + 1 0800** à **J + 1 1000**, le message de **1310 Hr** quant à lui est valable de **J 1310** à **J + 1 0800**. Le secrétariat du CM publie par l'OJ le message de **1000 Hr**.

Sauf information contraire, les valeurs mesurées à 1310 du dernier jour ouvrable s'appliquent également aux jours chômés suivants.

L'indice communiqué par les responsables du SvMéd sert de base pour déterminer le stade et les adaptations y relatives au moyen du tableau annexé.

Les Comd UAB sont tenus de s'informer de la valeur de l'indice WBGT et de la valeur de la concentration d'ozone publiées par messages pour pouvoir adapter éventuellement les séances d'instruction en fonction du tableau repris en annexe A. Les Comd UAB

feront parvenir les changements éventuels à faire au programme d'instruction de l'unité au bureau Instr/Sec dans les meilleurs délais.

Le cadre chargé de l'instruction est responsable de l'exécution et de la surveillance des conduites à tenir définies par le tableau WBGT.

L'Offr Sv¹ CM est averti à 1310 par le SvMéd de l'indice WBGT et le ca échéant des concentrations d'ozone. Il mentionne ces informations sur le rapport de garde.

Les valeurs de l'indice fournie devront être majorées de 6 degré Celsius en cas de port de la tenue NBC du masque à gaz ou de la veste pare balles.

Les activités reprises sous la rubrique «travail lourd» du tableau WBGT sont interdites en cas de concentration d'ozone supérieure à 200 microgrammes par mètre cube. Elles ne sont publiées qu'en cas de besoin.

¹ Officier de Service

² Nucléaire Biologique Chimique

Annexe A:

WBG



Travail léger	Travail modéré	Travail lourd
* Maniement d'armes * Exercices de tir * Maintien de l'Ordre * Drill et Cérémonies * Technique PO * Cross Promenade * Parcours naturel * Sports d'équipe * Jeux et Sports * Marche + <13 kg * Course d'Orientation	* Gymnastique * Sports de Combat * Tactique * Marche + <20 kg * Cross contre la montre * CO contre la montre	* Marche rapide + >20 kg * Marche forcée * Course 1000 m * PO contre la montre

INDICES	STADES	AP	L eau/h	A/P	L eau/h	A/P	L eau/h
25	1	NO LIMIT	1/2	NO LIMIT	3/4	40/20 min	3/4
26							
27							
28	2	NO LIMIT	3/4	50/10 min	3/4	30/30 min	1
29							
30	3	NO LIMIT	3/4	40/20 min	3/4	20/40 min	
31							
32	4	NO LIMIT	3/4	30/30 min	3/4	20/40 min	
et plus	5	50/10 min	1	20/40 min	1	10/50 min	

Légende:

- Les **indices** sont exprimés en degrés Celsius centigrades.
- Un stade est un ensemble défini d'indices facilitant l'application pratique de la grille.
- **No Limit:** activité continue (jusqu'à 4 heures) autorisée, sans pause.
- **A/P:** durée de l'activité par rapport à la durée de la pause (repos) requise, en minutes
- **Repos** ou pause = activité physique minimale (assis ou debout) à l'ombre si possible
- **LEau/h:** litres d'eau nécessaires par personne et par heure. (Ne pas dépasser 1.5 litres d'eau par heure, ne pas dépasser 12 litres par 24 heures.)
- Le port de la **tenue NBC** ou de la **veste pare-balles** nécessite une ajoute de 6 degrés Celsius à l'indice mesuré.

Remarques:

1. Les militaires **obèses** sont plus sensibles aux effets de la chaleur. Ils doivent donc être étroitement surveillés.
2. La **peau** doit être protégée de l'irradiation solaire (Index UV B³).
3. En cas de temps chaud et sec la **concentration pollinique** dans l'atmosphère est élevée.

4. La grille ci-dessus n'est valable que pour les personnes acclimatées. Une dizaine de jours est nécessaire pour une **acclimatation** éventuelle. [5]
5. Les concentrations de l'ozone atmosphérique ne sont rappelées qu'à partir de 200 microgrammes par mètre cube. [6]

³ mesuré également par la station meteoLCD

Ambiance chaude: Mise en place du projet WBGT à l'Armée luxembourgeoise.

Charles Bonert*
Francis Massen**

The Luxembourg Army needed an objective measure of outside heat-stress conditions; in a joint work with the meteorological station of the Lycée Classique Diekirch an automatically working facility which measures and publishes in near-realtime the wet bulb globe temperature (WBGT) on the internet was installed. This equipment enables the medical service of the army to issue a new permanent operational order limiting the physical work and specifying the necessary water intake according to the heat stress.

Keywords: heat-stress, WBGT, Luxembourg Army, meteoLCD

1. Définitions

Une **ambiance** est dite **chaude** lorsque les pertes caloriques passives du corps humain sont inférieures à la production interne de la chaleur: seule la mise en jeu de la sudation peut assurer l'équilibre thermique.[1] À condition que

l'air ambiant ne soit pas saturé en vapeur d'eau, 1 gramme d'eau évaporée par sudation permet d'éliminer 0.6 kcal (= 2.5 kJ). Pour mesurer une ambiance thermique à l'extérieur quatre paramètres de base doivent être connus: la température de l'air, l'humidité de l'air, l'irradiation solaire et la vitesse de l'air.[2]

L'**inconfort thermique** définit les ambiances qui font varier la température centrale de moins de 0.5 degrés Celsius. La **contrainte thermique** induit une variation plus importante de la température centrale ou encore une sollicitation prolongée des mécanismes physiologiques de régulation à l'origine d'une fatigue excessive de l'individu.

Rappelons que l'homme est un homéotherme: sa température centrale est stable, en dépit des variations de la température extérieure. Le centre de la thermorégulation est situé dans l'hypothalamus.

* Dr Charles BONERT, Service Médical, Armée luxembourgeoise,
Caserne du Herrenberg B.P. 166, L-9202 Diekirch, tel: 80 88 44 309 fax: 80 94 74
email: tsebo@pt.lu

** Prof. Francis MASSEN, Laboratoire de Physique,
Lycée Classique Diekirch, 32 av. de la gare, L-9233 Diekirch,
email: francis.massen@ci.educ.lu

2. Historique de la réglementation en vigueur à l'Armée luxembourgeoise

L'Ordre Permanent du Centre d'Instruction Militaire (OP CIM) 312-9 en vigueur jusqu'à mi-juin 2001 était formulé de la façon suivante:

«Limitation des activités physiques et sportives

a. But

Le présent OP a pour but de régler les détails relatifs à une limitation des activités physiques et sportives en cas de températures extérieures et/ou de valeurs d'ozone élevées pendant la période d'été.

b. Responsabilités

Pendant les périodes de grande chaleur, le Médecin de l'Armée (MédA) ou en cas de son absence le Médecin Militaire (MédMil) journallement décideront de la limitation éventuelle des activités physiques et sportives et transmettront leurs recommandations à l'Officier responsable de l'Instruction et de la Sécurité (Offr Instr/Secu) pour 0900 Hr.

c. Définitions

1. Généralités

En général, la pratique des activités physiques et sportives n'est pas limitée avant 1200 Hr. L'application des limitations porte essentiellement sur la période entre 1200 Hr et 1900 Hr.

2. Stade VERT

La pratique de toutes les activités physiques et sportives se trouvant sur le programme d'instruction des unités est autorisée.

3. Stade ROUGE

Sont défendus: Marche Forcée, Cross, Piste d'Obstacles (contre la montre), Test de Condition Physique.

Sont autorisés, sans demander un effort physique excessif: Marche, Natation, Cross promenade, Parcours naturel, Gymnastique, Sports de combat, Jeux et sports, Technique de la Piste d'Obstacles.

d. Exécution.

Journallement pour 0900 Hr le Service Médical (SvMéd) transmettra un certificat indiquant les limitations éventuelles des activités sportives signé par le MédA ou le MédMil au bureau Instr/Secu CIM.

L'Offr Instr/Secu fera publier le stade respectif par voie de l'Ordre Journalier (OJ) CIM.

Les commandants d'unité feront parvenir les changements éventuels à faire au programme d'instruction de leur unité au bureau Instr/Secu CIM dans les meilleurs délais.»

L'Armée était donc consciente du fait que le climat pouvait blesser un homme. En toute logique elle avait essayé de réglementer les conduites à tenir en responsabilisant les médecins militaires. Mais il ne restait à ceux-ci que de se fier à leur bon sens et d'être prudents. Ils étaient par exemple supposés connaître à 0900 heures du matin le temps qu'il aurait fait l'après-midi. Aucun critère objectif ne leur permettait de prendre une décision fondée.

L'OP CIM en question limitait les activités physiques des soldats par rapport à une température extérieure (non

précisée) et par rapport à une concentration d'ozone atmosphérique (non précisée). Le Médecin de l'Armée ou le Médecin Militaire devaient donc signer des stades (vert ou rouge) qui ne furent jamais clairement définis. Par prudence les médecins avaient intuitivement posé la limite de séparation entre les stades vert et rouge à 25°C.

Le 09 mai 2000 le commandement du Centre Militaire intervient «afin de faire parvenir avant le 02 juin 2000 au Comd CM une proposition pour modifier l'OP CM en annexe».

Le 13 mai 2000, le MédMil répond: «...Revenons à notre OP CM. L'influence du climat...est beaucoup trop complexe pour ne la décrire que par deux stades: rouge ou vert, basés sur une mesure de la température extérieure et sur des capacités prévisionnelles aléatoires...Il existe un système de mesures appelé **WBGT**....».

3. Le Projet WBGT.

(Wet Bulb Globe Temperature)

Pour les besoins de l'Armée américaine, YAGLOU et MINARD développent un indice, essayant de globaliser l'influence thermique externe sur l'homme. Déjà entre les deux guerres ils travaillaient sur ce concept. En 1972, le très officiel «National Institute for Occupational Safety and Health» (NIOSH) recommande l'application de cet indice dans les entreprises. [3]

L'indice WBGT constitue le critère d'évaluation adopté pour la protection des travailleurs dans la législation du travail de plusieurs pays industrialisés

(Belgique, Finlande, Japon, USA) et il fait l'objet de la norme internationale **ISO 7243**.

Selon cette norme l'indice peut être utilisé pour:

- apprécier le caractère tolérable ou non du travail dans la situation étudiée: l'indice WBGT constitue donc un outil de dépistage de la contrainte.
- organiser l'alternance des périodes de travail et de repos lorsque les valeurs limites sont dépassées. [1]

Militaire au départ, le système WBGT est devenu une notion civile, pour être récupéré finalement par l'Armée.

Comme d'un point de vue médical une hydratation adaptée est la meilleure protection contre les effets d'une contrainte thermique, les hygiénistes militaires américains ont élaboré une grille de conduite qui définit non seulement la durée des cadences de travail et de repos mais également les quantités d'eau à boire. La dernière mise à jour de cette grille fut publiée en avril 1998 par le Surgeon General du WALTER REED ARMY MEDICAL CENTER (WRAMC) de Washington:

La catégorisation militaire du WRAMC:

1. Travail léger ou facile:
(jusqu'à 200 kcal/h ou 837 kJ/h)
- Maintenance des armes
 - Marcher sur une surface dure à une vitesse de 4km/h avec une charge de moins de 13,5kg
 - Maniement des armes
 - Exercices de tir
 - Drill et cérémonies

2. Travail modéré:

(200-350 kcal/h ou 837-1465 kJ/h)

- Marche sur sable sec à une vitesse de 4 km/h sans charge
- Marche sur une surface dure à une vitesse de 6 km/h avec une charge de moins de 18 kg
- Culture physique
- Patrouilles
- Tactique individuelle
- Construction de positions défensives
- Attaques

3. Travail lourd (ou difficile):

(350-500 kcal/h ou 1465-2093 kJ/h)

- Marche sur une surface dure à une vitesse de 6 km/h avec une charge de plus de 18 kg
- Marche sur sable sec à une vitesse de 4 km/h avec charge.

Nous avons ensuite adapté cette catégorisation militaire américaine aux besoins de l'Armée luxembourgeoise. Le concept théorique était donc en place.

Dans [4] nous trouvons le commentaire suivant: «*Unfortunately the WBGT Index is not reported by radio and weather stations, and is generally not well known, even though it has been in use for over forty years*».

Cette situation était également celle du Luxembourg, et il a fallu trouver un moyen pour pouvoir mesurer professionnellement l'indice WBGT et le diffuser d'une façon fiable.

La station météorologique du Lycée Classique de Diekirch (**meteoLCD**) mesure le (micro)-climat qui règne dans les environs de Diekirch, lieu

privilegié des activités «out-door» des volontaires de l'Armée. Ses mesures sont publiées en temps quasi réel sur Internet. [7]

Jusque maintenant cette station ne disposait pas de l'appareillage technique nécessaire pour être à même de réaliser les mesures WBGT. L'Armée le lui a mis à disposition. Un deuxième appareil, Questemp15, portable, se trouve au SvMéd et peut servir de poste de secours en cas de panne de l'installation fixe ou comme poste de contrôle de la qualité des mesures. Les comparaisons des mesures faites jusqu'à ce jour donnent une concordance très satisfaisante.

A notre connaissance la station **meteoLCD** est la seule station luxembourgeoise qui mesure et diffuse actuellement cet indice. Le service médical de l'Armée reprend les mesures et les transmet aux responsables via le réseau informatique de l'Armée.

Le nouvel OP CM a été adapté en juillet 2001 [voir annexes A et B].

4. Le confort thermique vu par le physicien

4.1. Modélisation

Pour un physicien, le corps humain est un système soumis à des flux thermiques entrant et sortant. L'équilibre thermique correspond à une somme algébrique nulle de ces flux.

Flux thermiques entrants:

- Chaleur reçue de l'environnement (essentiellement de l'air ambiant) par conduction et/ou par convection

- Chaleur radiative reçue du soleil (ou de surfaces chaudes)
- Chaleur dégagée à l'intérieur du corps par le métabolisme de base et le travail mécanique fourni par le sujet

Flux thermiques sortants:

- Chaleur cédée à l'air ambiant par conduction et convection
- Chaleur cédée par évaporation (exhalation, sueur)

Chacun de ces flux est variable et dépend des conditions météorologiques du moment, de l'habillement et du travail fait par le sujet. Fanger [8] a établi un modèle mathématique incorporant ces paramètres («Behaglichkeitsgleichung nach Fanger») et fournissant un nombre appelé PMV (predicted mean vote), où $PMV = 0$ représente une situation où personne ne se plaindrait d'inconfort thermique. Des valeurs négatives du PMV correspondent à une sensation thermique de trop froid, des valeurs positives à une sensation de trop chaud. En couplant l'équation de Fanger aux flux radiatifs du soleil, Jendritzky [9] et al. ont construit le fameux modèle du «Klima-Michel», utilisé en architecture urbaine et suggéré également comme modèle à appliquer par le «Amt für Wehrgeophysik» de l'armée allemande [10].

Les problèmes de mesure des différents paramètres entrant dans ce modèle sont formidables, et exigent des simplifications drastiques (p.ex.: corps humain = cylindre surmonté d'une sphère, orientation particulière par rapport au soleil, sujet = homme-norme répondant à des

caractéristiques précises et fixes de masse, taille, surface corporelle, coefficient d'absorption pour le rayonnement solaire, coefficient d'émission de la peau...). Un logiciel relativement élaboré est nécessaire pour calculer le PMV, et l'acceptation de cette méthode lourde, aussi séduisante qu'elle soit d'un point de vue purement scientifique, est faible. (Citation [10]: «eine vorliegende Wertung aus der Beratungspraxis gipfelte in dem Hinweis, dass die Aussagen des Modells nur zur Belustigung beim Briefing taugen»).

4.2. Nécessité d'un indice synthétique simple

Il est évident qu'une situation de stress thermique s'établit si les flux thermiques sortants sont trop faibles, et si en conséquence la température interne du corps humain s'accroît dangereusement. Cette situation est à craindre si l'évaporation est trop réduite, ce qui est le cas par temps humide, chaud et sans mouvement de l'air.

Au moins huit indices simples permettant de reconnaître (et d'éviter) les situations de stress thermique excessif ont été introduits par les services météorologiques [11]: Humisery, Humidité, Temperature-Humidity Index, Sultriness Factor, Simmer Index, Discomfort Index, Heat Index....

L'humidité est défini par exemple par **humidité (°C) = 0.5 (T_{db} + T_{wb})** où T_{db} est la température mesurée par un thermomètre sec (dry bulb) et T_{wb} celle donnée par un thermomètre à mèche humide (wet bulb).

L'indice humidex a été introduit au Canada à partir de 1965; il est défini par:

Humidex (°C) = $T_{ab} + 5/9 * (e_a - 10)$ où e_a est la pression de vapeur en hPa.

Si on connaît le point de rosée (= dewpoint) l'expression devient:

$$\text{humidex} = \text{air_temp} + 0.5555 * \left[6.11 * e^{\left(\frac{5417.750 * (t - 38)}{237.7 - (t - 38)} \right)} - 10 \right]$$

Des valeurs supérieures à 45 sont considérées comme dangereuses, et à partir de 54 un choc hyper thermique est imminent.

On voit tout de suite que plusieurs facteurs météorologiques importants n'entrent pas en compte dans ces indices: ni l'intensité du rayonnement solaire, ni la vitesse du vent ne sont retenues, bien qu'il soit évident qu'une forte irradiation solaire ne peut qu'aggraver une situation d'inconfort, tandis qu'un vent sensible peut la rendre plus supportable.

L'armée américaine a introduit déjà dans les années 50 un indice synthétique appelé **WBGT** (Wet Bulb Globe Temperature) qui comprend essentiellement les mesures de 3 thermomètres différents, réagissant chacun de façon plus ou moins importante sur un ou plusieurs paramètres météorologiques fondamentaux.

- Un premier thermomètre (abrité des rayons du soleil) mesure la température de l'air: c'est la température du bulbe sec (DRY BULB TEMPERATURE).
- Un deuxième thermomètre est monté à l'intérieur d'une sphère en cuivre de 150mm de diamètre, peinte en

noir (coefficient d'émission 0.98); sa température dépend évidemment de celle de l'air ambiant, mais surtout de l'intensité du rayonnement solaire et des conditions de vent. La température d'équilibre qui s'établit après environ 20 minutes correspond à une situation d'équilibre complexe entre les flux thermiques entrants (rayonnement du soleil, rayonnement infrarouge de l'atmosphère...) et sortants (refroidissement convectif par le vent, dépendant de la vitesse du vent et des conditions d'humidité de l'air ambiant). Cette (black) GLOBE TEMPERATURE sera pratiquement toujours supérieure à la température de l'air ambiant.

- Finalement un troisième thermomètre est recouvert par une mèche en coton constamment humide, et exposé tel quel aux mouvements de l'air. C'est cette WET BULB TEMPERATURE qui jouera le plus grand rôle. En effet, par temps humide et chaud, l'évaporation et donc le refroidissement qui l'accompagne seront relativement faibles, et l'écart entre la température de ce thermomètre humide et celle de l'air sera faible. Par temps sec et chaud par contre, la température du Wet Bulb pourra être très inférieure (p.ex. de 10°C ou plus) à celle de l'air ambiant. Le Wet Bulb n'est pas un psychromètre: dans cet appareil (utilisé pour la mesure de l'humidité de l'air) un thermomètre sec est comparé à un thermomètre humide soumis à une convection d'air forcée, et abrité du soleil. Tel n'est pas le cas ici: la «natural wet temperature» correspond à un refroidissement «naturel» provoqué par les

mouvements de l'air, et dépendant de la pression de vapeur actuelle, de la vitesse du vent, etc.

On voit donc que les températures du globe et de la mèche humide sont des indicateurs simples de situations complexes!

L'indice WBGT pour l'extérieur («outdoor WBGT») est défini par:

$$\text{WBGT} = 0.7 \cdot \text{WBT} + 0.2 \cdot \text{GT} + 0.1 \cdot \text{DBT}$$

où WBT = wet bulb temperature, GT = globe temp. et DBT = dry bulb temp.

Il est important de remarquer l'influence dominante du WB!

L'avantage du WBGT par rapport au modèle complexe du Klima-Michel est double:

- c'est un indice transparent, facile à comprendre intuitivement
- c'est un indice facile à mesurer

Le désavantage est que l'indice lui-même est sans utilité, s'il n'est pas mis en rapport avec des situations réelles de stress thermique. Or ce «calibrage empirique» a été réalisé par l'armée américaine et d'autres instances [13] depuis longtemps, et il est constamment revu et adapté à des situations différentes (p.ex. aux conditions dans la nacelle d'un avion de combat, aux vêtements spécifiques...).

4.3. La mesure du WBGT par meteoLCD

La station météorologique du Lycée Classique de Diekirch est une station automatique spécialisée dans les mesures du rayonnement solaire (irradiation totale, UVB, UVA) et des

gaz atmosphériques (O_3 , NO_x , CO_2). Les mesures sont actualisées deux fois par heure et disponibles en temps quasi réel sur Internet [7]. Les instruments de mesures se trouvent dans un local situé sur le toit de la nouvelle aile («terrain LORTZ») du LCD. Trois thermomètres DB, WB et GB de la marque BABUC (fabriquant: LSI Laboratori di Instrumentazione Industriale s.p.a) ont été montés sur le toit [fig.1].

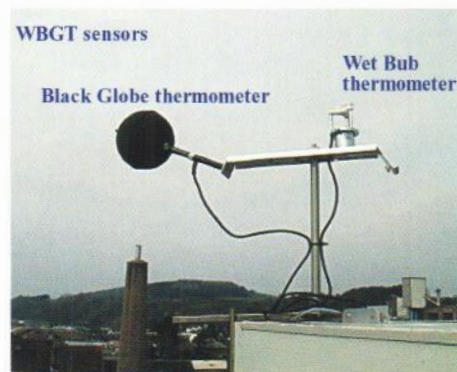


Figure 1: Photographie de l'installation WBGT montée sur le toit du LCD

La réserve de 50 cm³ d'eau distillée du WB donne une autonomie de 2 à 3 jours. Un système comprenant une pompe péristaltique et une horloge programmable permet une alimentation régulière en eau distillée, donc un fonctionnement en continu sans interventions itératives. Le WBGT est calculé par le logiciel qui assure le fonctionnement de la station, et il est affiché graphiquement avec les autres paramètres climatiques [fig.2]. Ceci permet de suivre l'évolution au cours de la journée, et de voir celle des journées précédentes. Ce système a été mis en route en mai 2001 après environ 6 mois de recherches et de tests préliminaires.

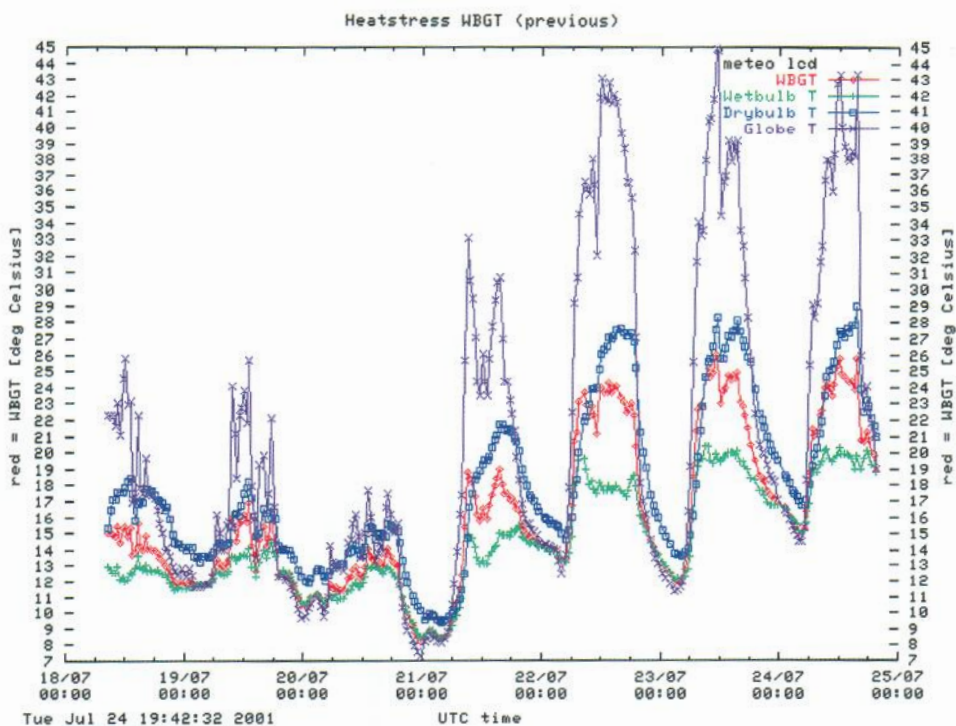


Figure 2: Graphique montrant l'évolution hebdomadaire du WBGT et des températures qui entrent en compte

On pourrait se poser la question, si le calcul du WBGT ne pouvait pas se faire sans avoir recours à ces thermomètres spécialisés. La réponse est «oui... mais». Chuck HUNTER de la WESTINGHOUSE SAVANNAH RIVER Co. a publié[14] une étude «Estimating Wet Bulb Globe Temperature using Standard Meteorological Measurements», dans laquelle il montre qu'une modélisation très poussée permet d'estimer la WBT et GT. L'estimation de la WBT repose cependant sur un calage empirique que les auteurs n'ont pas pu reproduire à partir des données mesurées à Diekirch, et sur des calculs complexes pour trouver la GT. Une correspondance avec M. HUNTER a

finallement convaincu cet auteur que l'utilisation de thermomètres DB, WB et G était de loin la solution la plus immédiate et la plus transparente.

Références:

- [1] Ph. Mairiaux et J. Malchaire: Le travail en ambiance chaude. Collection de Monographies de Médecine du Travail, 1990, Masson.
- [2] Institut Universitaire de Médecine du Travail de Rennes: Les ambiances thermiques. http://www.med.univ-rennes1.fr/etud/med_travail/ambiances_thermiques.htm

- [3] Prof. Dr Christophe De Brouwer, ULB, Ecole de Santé Publique, Laboratoire de Santé au Travail et de Toxicologie du Milieu, Cours et séminaires en ligne: Ambiance de travail et Contraintes humaines: la Chaleur. (année 1999 à 2000)
<http://www.ulb.ac.be/esp/lsttm/coursenligne/cdb.html>
- [4] <http://www.afcintl.com/heatapp3.htm>
- [5] Ministère du Travail de l'ONTARIO (Canada): Contrainte thermique.
<http://www.gov.on.ca/LAB/ohs/heatf.htm>
- [6] PD Dr. Höppe: Wirkung von Ozon in umweltrelevanten Konzentrationen auf die Lungenfunktion und Reizeempfindungen.
<http://www.med.uni-muenchen.de/arbmed/forsch.html#ozon>
- [7] http://www.restena.lu/meteo_lcd/
- [8] VDI Richtlinien: Umweltmeteorologie: Methoden zur humanmeteorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil 10: Klima. VDI 3787 Blatt 2, 1998
- [9] Jendritzky, G., Menz G., Schirmer H., Schmidt-Kessen W.: Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschrittenes Klima-Michel Modell). Beiträge der Akademie f. Raumforschung und Landesplanung, Bd. 114, Hannover 1990
- [10] Aufm Kampe, W.: Das Klima-Michel Modell im Dienst der Bundeswehr. Interner Bericht No. 98115, Traben-Trarbach, 1998
- [11] Geography 373: Applied Climatology. University of Victoria-Spring 2001 Term Lecture 11: Heat Impacts on Human Health - Weather Indices
- [12] http://www.physlink.com/reference_weather.cfm
- [13] Working in the Heat. MG022, July 1999. Workplace Health and Safety Bulletin. Alberta Human Resources and Employment. 1999
- [14] Hunter, Aiken, Minyard: Estimating Wet Bulb Globe Temperature using Standard Meteorological Measurements. Charles H. Hunter, Westinghouse Savannah River Co., Aiken and C. Olivia Minyard, College of Charleston.
<http://ams.confex.com/ams/annual2000/2environment/abstracts/6464.htm>

Annexe B.: OP CM 312-09

Adaptation des activités physiques et sportives

a. But

Le présent OP a pour but de régler les détails relatifs à une adaptation des activités physiques et sportives aux conditions climatiques estivales.

b. Responsabilités

Du 01 mai au 30 septembre, le Médecin de l'Armée ou en cas de son absence le Médecin Militaire diffuse par courrier électronique 2 fois par jour

(1000 et 1310) les indices WBGT (en degrés Celsius) et, si nécessaire, la concentration de l'ozone au personnel repris en annexe a. Le message de **1000** Hr est valide de J **1000** à J **1310** et de J + 1 **0800** à J + 1 **1000**, le message de **1310** Hr quant à lui est valable de J **1310** à J + 1 **0800**. Le secrétariat du CM publie par l'OJ le message de **1000** Hr.

Sauf information contraire, les valeurs mesurées à 1310 du dernier jour ouvrable s'appliquent également aux jours chômés suivants.

L'indice communiqué par les responsables du SvMéd sert de base pour déterminer le stade et les adaptations y relatives au moyen du tableau annexé.

Les Comd UAB sont tenus de s'informer de la valeur de l'indice WBGT et de la valeur de la concentration d'ozone publiées par messages pour pouvoir adapter éventuellement les séances d'instruction en fonction du tableau repris en annexe A. Les Comd UAB

feront parvenir les changements éventuels à faire au programme d'instruction de l'unité au bureau Instr/Secu dans les meilleurs délais.

Le cadre chargé de l'instruction est responsable de l'exécution et de la surveillance des conduites à tenir définies par le tableau WBGT.

L'Offr Sv¹ CM est averti à 1310 par le SvMéd de l'indice WBGT et le cas échéant des concentrations d'ozone. Il mentionne ces informations sur le rapport de garde.

Les valeurs de l'indice fournies devront être majorées de 6 degrés Celsius en cas de port de la tenue NBC, du masque à gaz ou de la veste pare-balles.

Les activités reprises sous la rubrique «travail lourd» du tableau WBGT sont interdites en cas de concentration d'ozone supérieure à 200 microgrammes par mètre cube. Elles ne sont publiées qu'en cas de besoin.

¹ Officier de Service

² Nucléaire Biologique Chimique

Annexe A:

WBGT



Travail léger	Travail modéré	Travail lourd
* Maniement d'armes * Exercices de tir * Maintien de l'Ordre * Drill et Cérémonies * Technique PO * Cross Promenade * Parcours naturel * Sports d'équipe * Jeux et Sports * Marche + <13 kg * Course d'Orientation	* Gymnastique * Sports de Combat * Tactique * Marche + <20 kg * Cross contre la montre * CO contre la montre	* Marche rapide + >20 kg * Marche forcée * Course 1000 m * PO contre la montre

INDICES	STADES	AP	L eau/h	A/P	L eau/h	A/P	L eau/h
25	1	NO LIMIT	1/2	NO LIMIT	3/4	40/20 min	3/4
26							
27							
28	2	NO LIMIT		50/10 min	3/4	30/30 min	
29							
30	3		3/4	40/20 min		20/40 min	1
31							
32	4			30/30 min			
et plus	5	50/10 min	1	20/40 min	1	10/50 min	

Légende:

- Les **indices** sont exprimés en degrés Celsius centigrades.
- Un stade est un ensemble défini d'indices facilitant l'application pratique de la grille.
- **No Limit:** activité continue (jusqu'à 4 heures) autorisée, sans pause.
- **A/P:** durée de l'activité par rapport à la durée de la pause (repos) requise, en minutes

- **Repos** ou pause = activité physique minimale (assis ou debout) à l'ombre si possible
- **L Eau/h:** litres d'eau nécessaires par personne et par heure. (Ne pas dépasser 1.5 litres d'eau par heure, ne pas dépasser 12 litres par 24 heures.)
- Le port de la **tenue NBC** ou de la **veste pare-balles** nécessite une ajoute de 6 degrés Celsius à l'indice mesuré.

Remarques:

1. Les militaires **obèses** sont plus sensibles aux effets de la chaleur. Ils doivent donc être étroitement surveillés.
2. La **peau** doit être protégée de l'irradiation solaire (Index UV B³).
3. En cas de temps chaud et sec la **concentration pollinique** dans l'atmosphère est élevée.
4. La grille ci-dessus n'est valable que pour les personnes acclimatées. Une dizaine de jours est nécessaire pour une **acclimatation** éventuelle. [5]
5. Les concentrations de l'ozone atmosphérique ne sont rappelées qu'à partir de 200 microgrammes par mètre cube. [6]

³ mesuré également par la station meteolCD