

INFLUENCE DE LA CHALEUR HUMIDE SUR LE TRAITEMENT DE L'INFORMATION ET LA PERFORMANCE.

Didier Delignières
Laboratoire de Psychologie
Mission Recherche
I.N.S.E.P.

Introduction.

De nombreux types de stressseurs sont susceptibles d'altérer la performance chez les sportifs de haut-niveau. Le plus important est sans doute la situation compétitive elle-même, dont les enjeux et l'incertitude peuvent générer des réactions émotives particulièrement néfastes (Martens, Vealey, & Burton, 1990). D'autres facteurs peuvent revêtir une importance considérable, en fonction des activités et du calendrier des compétitions. On peut citer notamment le bruit, susceptible d'altérer les capacités d'attention chez le sportif, ainsi que la privation de sommeil et le décalage horaire, souvent présent lors des déplacements à l'étranger des athlètes. Certaines compétitions peuvent également induire un important facteur climatique: il s'agit notamment des événements ayant lieu en zone tropicale.

Le stress thermique a été avant tout étudié dans le cadre militaire et dans celui du travail. Il s'agit dans les deux cas de favoriser l'adaptation des personnels à des conditions de charge thermique intense, déterminées soit par le climat, soit par le lieu de travail (salle des machines, mines, sidérurgie, papeteries, industries textiles, etc...). Le sport de haut-niveau pose des problèmes spécifiques qu'il convient de garder en mémoire. Tout d'abord, la compétition conserve de manière générale un caractère exceptionnel et s'inscrit le plus souvent dans une temporalité courte: le problème qui se pose alors n'est pas d'adapter un sujet à une mission de plusieurs semaines ou plusieurs mois, mais de sauvegarder un niveau de performance lors d'un séjour de quelques jours. Le problème est par exemple crucial chez les professionnels engagés dans les circuits internationaux, qui sont amenés de manière régulière passer d'un climat à l'autre au gré des rendez-vous internationaux. On doit également prendre en compte le fait que les sportifs sont des experts, confrontés chacun dans leur spécialité aux situations les plus difficiles. A ce niveau le problème est clairement différencié, par rapport aux perspectives de la psychologie du travail, où la perspective est davantage d'adapter la tâche afin de conserver en toute sécurité un rendement moyen.

Cette revue de question se propose de synthétiser l'ensemble des travaux expérimentaux réalisés depuis la seconde guerre mondiale sur l'influence de la charge thermique sur l'efficacité des processus de traitement de l'information. Nous ne nous intéressons donc ici qu'aux composantes perceptives, cognitives et psychomotrices de la performance. D'autres altérations sont évidemment à considérer, notamment sur le versant bio-énergétique de la performance. Ces altérations néanmoins débordent du cadre que nous nous sommes fixé.

Enfin, ce problème de l'influence de la chaleur sur les processus de traitement de l'information ne semble pas avoir à ce jour particulièrement intéressé les théoriciens de l'entraînement sportif, la majeure partie des travaux relatifs aux relations entre chaleur et performance sportive se centrant sur la dimension énergétique. C'est donc au niveau de recherches plus fondamentales que nous avons puisé nos sources, en essayant au maximum de déboucher sur des hypothèses relatives à la pratique sportive.

1. Mesure de la charge thermique.

Le stress thermique dépend de plusieurs facteurs. D'une manière générale, le sentiment de confort ou d'inconfort de l'individu dépend des relations entre les taux de production et de dissipation de chaleur par l'organisme. Les processus métaboliques produisent constamment de la chaleur, et de manière simultanée des pertes de chaleur ont lieu à la surface de la peau par radiation, évaporation et convection. Pour maintenir une température interne constante, les pertes doivent être équivalentes à la production de chaleur. Tout facteur interférant avec les processus d'élimination de la chaleur entraînent donc une élévation de la température corporelle et un sentiment d'inconfort. Trois principaux facteurs sont susceptibles d'affecter les pertes de chaleur: la température ambiante, l'humidité relative, et le mouvement de l'air. Lorsque la température de l'air et des objets environnants augmente, les pertes de chaleur par radiation et convection diminuent. Lorsque l'humidité relative augmente, les pertes de chaleur par évaporation diminuent. Quant au mouvement de l'air, il tend à augmenter les pertes par convection.

Le niveau de confort thermique, face à une température ambiante donnée, est donc modulé par l'humidité et le mouvement de l'air. Une température de 40°C peut être insupportable dans un air saturé d'humidité et sans vent, alors qu'elle demeure confortable avec une faible humidité relative et un mouvement conséquent de l'air. Houghten et Yagloglou (1923) ont proposé de synthétiser ces trois facteurs dans un index unique, appelé température effective (ET). La température effective d'un climat correspond à la température qui associée à une humidité maximale et à un mouvement de l'air négligeable donnerait la même sensation de chaleur que ce climat. A titre d'illustration, la figure 1 décrit la relation entre température sèche (c'est-à-dire la température mesurée au moyen d'un thermomètre à mercure ordinaire) et température effective, en fonction de l'humidité relative de l'air. Afin de simplifier le graphique, on considère que le mouvement de l'air est négligeable. On voit par exemple qu'une température ambiante sèche de 43.3°C correspondra à une température effective de 31°C à 30% d'humidité, de 36.6°C à 60%, et de 43.3°C à 100%. Une température effective de 38.3°C sera atteinte avec 46°C à 60% d'humidité, 54°C à 30%, 67.7°C à 10%. La température effective peut être estimée de manière plus rigoureuse grâce à des nomogrammes, en fonction de la température sèche, de la température humide¹ et de la vitesse de l'air (Parsons, 1993).

¹ La température humide est mesurée au moyen d'un thermomètre à mercure classique, exposé au mouvement de l'air et dont le réservoir est enveloppé d'un tissu de coton humidifié. Lorsque l'humidité est

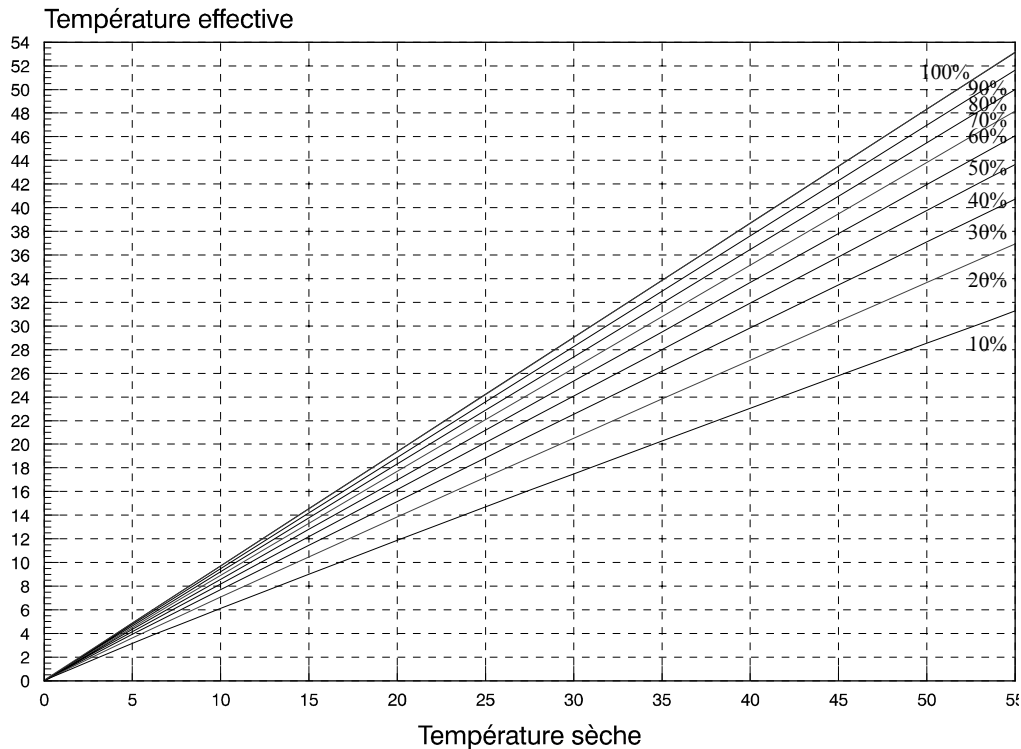


Figure 1: Relations entre la température mesurée au thermomètre à bulbe sec et température effective, en fonction de l'humidité relative. L'influence du mouvement de l'air n'est pas prise en considération. Graphique réalisé d'après les données de Houghten et Yagloglou (1923).

L'index de température effective d'Houghten et Yagloglou a subi un certain nombre de critiques (Parsons, 1993). Diverses propositions alternatives ont été avancées, et notamment le *Wet-Bulb Globe Temperature Index* (WBGT) de Yaglou et Minard (1957), qui synthétise la température de l'air, l'humidité relative, le mouvement de l'air et la chaleur radiante. Il est obtenu par l'équation suivante:

$$WBGT = 0.7t_{wb} + 0.2t_g + 0.1t_{db}$$

Dans laquelle t_{db} représente la température sèche, t_{wb} la température humide, et t_g la température mesurée par un thermomètre dont le bulbe est isolé au centre d'un globe noir de 15 cm de diamètre. Ce globe a pour propriété d'absorber la chaleur radiante de l'environnement.

forte, il n'y a pas de différence entre température sèche (*dry bulb temperature*) et température humide (*wet bulb temperature*). Par contre par temps sec l'évaporation à la surface du réservoir tend à faire diminuer la température humide. Plus la différence entre température sèche et température humide est forte, plus l'humidité relative est faible.

Le *Wet-Bulb Globe Temperature Index* semble dorénavant l'indice le plus communément utilisé pour mesurer la charge thermique. Néanmoins la température effective fournit un indice suffisamment précis dans une perspective appliquée, et par ailleurs la plupart des travaux en psychologie l'utilisent encore pour décrire leurs conditions expérimentales.

En résumé, la température de l'air ne constitue donc qu'un indicateur imparfait de la charge thermique représentée par un climat donné. D'une manière générale un climat est d'autant plus pénible, pour une température donnée, que l'humidité relative est élevée, qu'il y a peu de mouvement d'air, et que l'on est exposé directement à des sources de chaleur radiante (le soleil notamment). A titre d'exemple, nous avons indiqué en figure 2 les valeurs moyennes de température, d'humidité relative et de mouvement de l'air, enregistrées heure par heure à Atlanta ces dix dernières années sur la période correspondant aux prochains Jeux Olympiques (20 Juillet/4 Août).

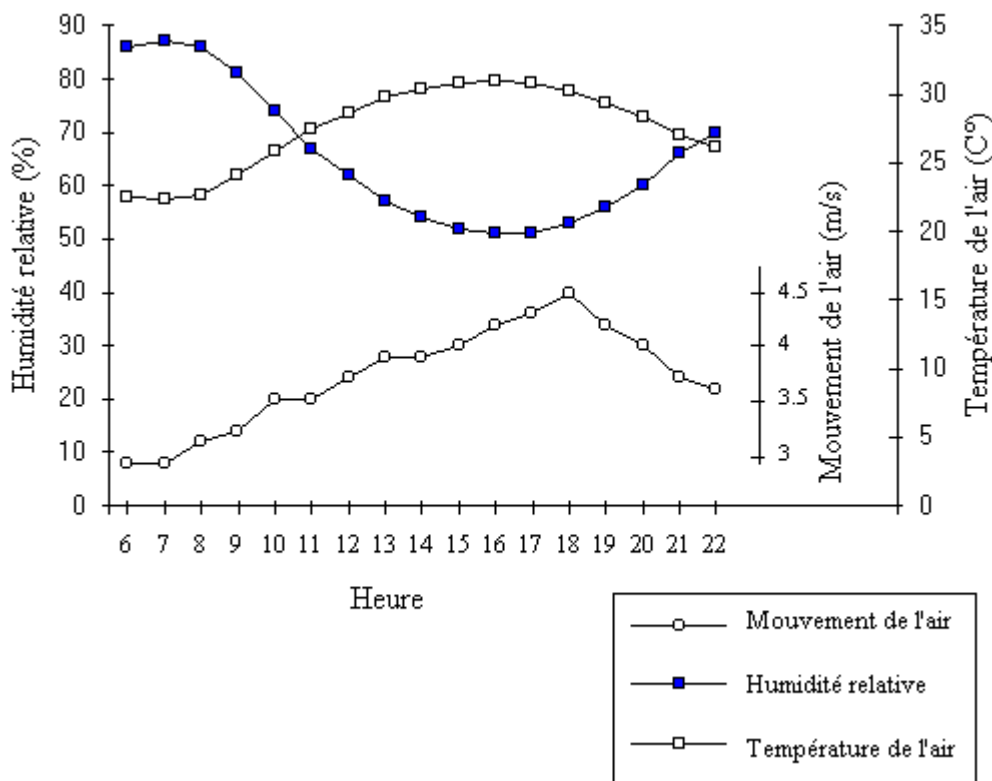


Figure 2: Température de l'air, humidité relative et mouvement de l'air prévisibles en fonction de l'heure à Atlanta lors des Jeux de 1996 (graphique établi d'après les données fournies par l'Atlanta Committee For The Olympic Games).

Ces données doivent être considérées avec prudence, ne représentant que des moyennes: notamment les maxima de température enregistrés durant la période sont de l'ordre de 40°C, sur l'ensemble des sites olympiques. Notons néanmoins que ces données laissent prévoir une température effective moyenne de l'ordre de 25°C, qui pour être élevée demeure dans les limites du tolérable.

2. Charge thermique et traitement de l'information.

Les expériences réalisées depuis un cinquantaine d'années sur l'influence de la température ambiante sur la performance ont porté sur un grand nombre de tâches réelles ou de laboratoire. Pris dans leur ensemble, les résultats de ces travaux présentent un tableau fort peu consistant (Parsons, 1993): en fonction du type de tâche étudiée (tâche mentale, tâche perceptivo-motrice, tâche simple ou complexe) et des conditions climatiques, on obtient parfois des effets de dégradation, parfois des améliorations, et souvent aucun effet significatif. Deux catégories de tâches renvoient plus directement aux processus en jeu dans la pratique sportive: il s'agit d'une part des tâches de vigilance, et d'autre part des tâches perceptivo-motrices. D'une manière générale les travaux utilisant ces tâches mettent en évidence des effets de dégradation de la performance lors de l'exposition prolongée à la chaleur.

Les tâches dites de vigilance demandent aux sujets de rester attentif face à un dispositif et de répondre à l'apparition de signaux critiques, d'apparition aléatoire et peu fréquente. Par exemple Mackworth (1950) étudie l'évolution des performances dans une tâche consistant à observer une trotteuse d'horloge et à repérer les moments où de manière aléatoire, l'aiguille "saute" une graduation sur le cadran. Les sujets réalisent cette tâche durant deux heures, en étant soumis à des températures effectives de 21°C, 26°C, 31°C et 36°C. Les résultats indiquent que la performance présente un optimum à la température médiane de 26°C ET, mais est plus faible en-deçà et au-delà. Pepler (1958) obtient un résultat similaire (Figure 3). De manière globale, les travaux réalisés sur ce type de tâche mettent en évidence une dégradation de la performance significative dès que la température ambiante dépasse 30°C ET (Bell, Provins, & Hiorns, 1964; Carlson, 1961; Fraser, 1957; Mortagy, 1971; Poulton, Edwards, & Colquoun, 1974; Viteles, & Smith, 1946; pour une revue, voir Hancock, 1986).

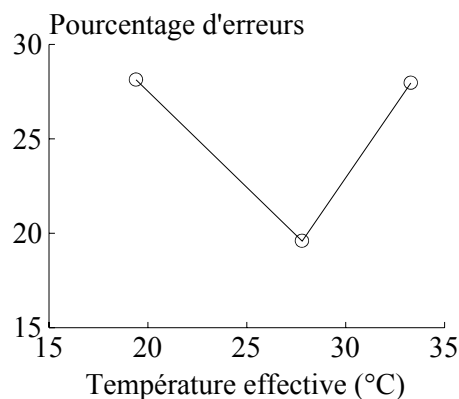
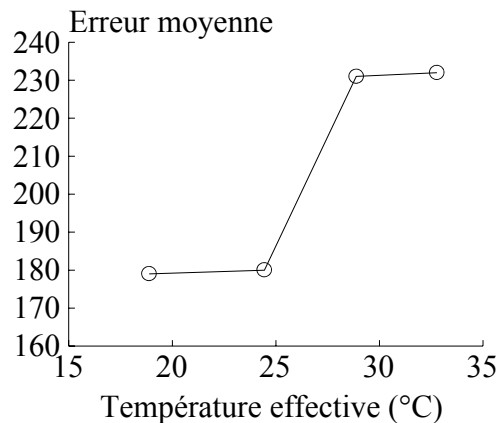


Figure 3: Température effective et pourcentage d'erreurs, dans une tâche de vigilance (d'après Pepler, 1958).

Divers travaux ont étudié l'influence de la chaleur sur des tâches comportant de significatives composantes motrices. D'une manière générale, ces expériences mettent également en évidence des dégradations significatives de la performance, au-delà d'un seuil critique de température ambiante effective. Par exemple Pepler (1958) étudie l'évolution de la performance dans une tâche dite de *tracking*, consistant à poursuivre une cible au mouvement irrégulier avec un pointeur. La tâche est réalisée à 19°C, 24°C, 29°C et 33°C ET. Les résultats montrent une dégradation significative de la performance entre 24°C et 29°C. Il n'y a par ailleurs pas d'évolution significative de la performance entre les deux premiers et les deux derniers paliers de température (Figure 4). L'auteur invoque l'existence d'une "zone critique", déterminant le début de la dégradation de la performance. Ce résultat confirme ceux obtenus dans des tâches similaires par Mackworth (1950) et Carpenter (1950). Beshir, El-Sabagh et El-Nawawi (1981) obtiennent pour leur part une dégradation entre 20°C et 26°C, la différence entre 26°C et 30°C n'étant pas significative. On peut noter que l'amélioration des performances lors de l'exposition à des températures moyennes obtenue dans les expériences sur la vigilance n'est généralement pas retrouvée en ce qui concerne les



tâches perceptivo-motrices.

Figure 4: Température effective et erreur moyenne d'alignement, dans une tâche de tracking (d'après Pepler, 1958).

La chaleur semble affecter de manière simultanée la rapidité et la précision des mouvements. Weiner et Hutchinson (1945) décrivent une dégradation significative dans une tâche de coordination bi-manuelle complexe, après deux heures d'exposition à 32.7°C ET. La dégradation est déterminée par un manque de précision et une lenteur de mouvement. Epstein, Keren, Moisseiev, Gasko et Yachin (1980) étudient les effets de trois niveaux de température effective (21°C, 30°C, et 35°C) sur la vitesse et la précision dans une tâche psychomotrice complexe: à 21°C, les performances sont relativement lentes, mais précises. A 30°C, les performances sont plus rapides, au détriment de la précision. A 35°C, une dégradation générale, tant en terme de rapidité que de précision, est observée.

Nous n'avons évoqué jusqu'à présent que l'influence de l'intensité de la charge thermique. Il semble qu'un second facteur déterminant, la durée d'exposition, soit à prendre en compte. Il semble tout d'abord que les effets de la chaleur ne se manifestent

qu'au-delà d'une certaine durée d'exposition, d'à peu près une demi-heure (Hancock, 1986; Hohnsbein, Piekarski, & Kampmann, 1983; Mackworth, 1950; Pepler, 1958; Wilkinson, 1969). Pour des expositions plus courtes des améliorations de la performance ont même été fréquemment rapportées, notamment pour les tâches simples (Parsons, 1993). Au-delà de cette limite, on peut se demander si les effets de la chaleur sont proportionnels à la durée d'exposition. Dans une expérience réalisée récemment à l'INSEP, nous avons étudié l'effet de la température (20°C vs 38°C ET) et de la durée (30, 45 et 60 minutes) sur la performance dans une tâche de temps de réaction de choix (Delignières, 1994). Les deux facteurs ont de manière isolée un effet significatif sur la performance, mais aucun effet d'interaction n'est mis en évidence. En d'autres termes dans la limite des durées étudiées l'effet de la chaleur ne semble pas lié à la durée d'exposition. Mortagy (1971) obtient un résultat divergent dans une tâche de vigilance à trois niveaux de température effective (23.3°C, 27.8°C et 32.2°C). Dans cette expérience, la durée de la tâche (20, 40 et 60 minutes) n'a pas d'influence sur la performance aux températures les plus basses; par contre à 32.2°C on observe une dégradation de la performance proportionnelle à la durée de la tâche. La nature des interactions entre chaleur et durée n'est donc pas évidente et nécessite des travaux supplémentaires. Nous verrons néanmoins dans la prochaine section que les modèles proposés pour expliquer les effets de la charge thermique permettent d'avancer quelques hypothèses à ce sujet.

D'une manière générale, ces expériences indiquent un effet négatif de la charge thermique sur la performance. D'autres résultats, obtenus notamment dans des tâches de raisonnement apparaissent nettement différenciés: ainsi Holland, Sayers, Keatinge, Davis et Peswani (1985) étudient l'évolution des performances cognitives au cours d'une élévation de la température corporelle provoquée par une immersion dans un bain à 41°C. La température corporelle s'élève à 39°C. Les résultats n'indiquent aucun effet significatif dans une tâche de mémoire à long terme, ni dans une tâche de mémoire à court terme. La précision des performances, dans une tâche de raisonnement mathématique, n'est pas altérée, mais on observe une amélioration de la rapidité de traitement. Allnut et Allan (1973) obtiennent également une amélioration de la vitesse dans une tâche de raisonnement non-verbal, après élévation de la température interne à 38.5°C. Ces résultats suggèrent que la température pourrait affecter de manière différenciée les processus cognitifs. Les résultats relativement consistants obtenus dans les tâches de vigilance suggèrent que les étapes perceptives du traitement sont particulièrement touchées. Certains travaux semblent démontrer également une influence négative sur le versant moteur. Par contre, les processus les plus centraux semblent davantage épargnés par la charge thermique.

Ces suggestions ne reposent néanmoins que sur l'analyse de l'évolution des performances dans des tâches qui demeurent assez complexes, et l'identification précise du niveau de dégradation est délicate. Certains auteurs ont tenté d'isoler davantage les processus par des protocoles expérimentaux très épurés. Ainsi Hohnsbein, Piekarski et Kampmann (1983) tentent d'isoler la sensibilité visuelle par la mesure de seuils de contrastes, dans trois conditions: contrôle (25°C, 40% d'humidité), très chaud et sec (50°C, 10% d'humidité), chaud et humide (38.5°C, 65% d'humidité). L'expérience montre que la sensibilité aux contrastes est significativement altérée par l'exposition à la chaleur. L'effet ne se manifeste qu'au-delà de 30 minutes d'exposition. Les auteurs

suggèrent que l'effet de la chaleur se situe au niveau périphérique, au niveau des récepteurs.

D'une manière générale, l'isolation des processus dans des tâches de ce type n'est pas évidente. Une manière de contourner ce problème est d'étudier les interactions entre la chaleur et d'autres facteurs limitant de la performance. Ce principe est à la base de la méthode des facteurs additifs (Sternberg, 1969, Sanders, 1980), et permet d'envisager la localisation précise des effets d'un stresser: si deux facteurs ont un effet interactif sur la performance (c'est-à-dire que la somme de leurs effets est différente de l'effet de leur association), on suppose que ces deux facteurs affectent simultanément le même processus. Par contre si les deux facteurs sont indépendants (la somme de leurs effets est égale à l'effet de leur association), la localisation de leurs effets est différenciée. En analysant les interactions entre la chaleur et d'autres facteurs dont la localisation des effets est connue, on peut envisager de préciser davantage l'effet de la charge thermique.

Nous avons tenté d'appliquer les principes de la méthode des facteurs additifs au problème de la chaleur (Delignières, 1994). Cette expérience a consisté à étudier l'influence du stress thermique (20°C ET vs 38°C ET) et de diverses variables expérimentales (qualité du signal, compatibilité stimulus-réponse et durée de la période préparatoire) sur la performance dans une tâche de temps de réaction de choix. L'expérience ne met en évidence aucune interaction entre compatibilité et stress thermique. Ce premier résultat suggère que les étapes centrales du traitement de l'information, liées à la sélection de la réponse, ne sont pas directement affectées par la chaleur. Cette interprétation est confirmée par divers travaux portant sur les interactions entre incitations de performance et stress thermique. Il a été montré que les incitations de performance (encouragements, connaissance des résultats, performance-cible) affectent de manière sélective le stade de sélection de la réponse (Sanders, 1983; Laplace, Audiffren, & Alain, 1993). Or d'une manière générale, aucune interaction n'a été mise en évidence entre incitation de performance et chaleur (Mackworth, 1950; Pepler, 1958; Wilkinson, 1969). Ces données confirment que les étapes centrales du traitement de l'information ne sont pas directement affectées par la charge thermique.

Nous n'avons mis également en évidence aucune interaction entre stress thermique et durée de la période préparatoire. Ce résultat suggère que le versant moteur du traitement ne soit également pas affecté. En revanche une interaction significative a été mise en évidence entre qualité du signal et chaleur, supposant que les étapes perceptives du traitement soient sélectivement affectées par la chaleur. Cette interaction est néanmoins surprenante, dans le sens où elle tend à indiquer que la dégradation liée à la chaleur est plus importante avec un signal de bonne qualité qu'avec un signal de qualité médiocre. Cette action du stress thermique sur les étapes perceptives ne peut donc en aucun cas expliquer la dégradation générale de la performance liée à la chaleur.

Ces résultats peuvent être reliés à ceux des travaux analysant les interactions entre stress thermique et privation de sommeil, attendu qu'il a été montré que cette dernière affecte de manière simultanée le stade d'identification du stimulus et le stade des ajustements moteurs (Sanders, Wijnen, & van Arkel, 1982). Pepler (1959) ne met en évidence aucune interaction entre charge thermique et privation de sommeil dans une tâche de tracking et une tâche de temps de réaction de choix. Poulton, Edwards et

Colquoun (1974) confirment ce résultat dans une réplique de l'expérience, mais montrent une interaction significative dans la première partie d'une tâche de vigilance auditive. Dans leur ensemble, ces travaux semblent confirmer l'absence de liaison nette entre la chaleur et les étapes perceptives et motrices du traitement de l'information. On peut noter néanmoins que dans un travail récent, Libert *et al.* (1992) mettent en évidence une interaction entre privation de sommeil et charge thermique dans une tâche de vigilance: la chaleur tendrait à atténuer l'effet de dégradation lié à la privation de sommeil. Les auteurs estiment que la privation de sommeil génère une hypothermie diurne, que l'élévation de la température ambiante permet de compenser.

Malgré les zones d'ombre et les nombreuses questions qui restent en suspens, ces travaux suggèrent que de nombreux processus cognitifs sous-tendant la performance sportive sont susceptibles d'être affectés par la charge thermique. Cette perspective informationnelle mérite d'être soulignée, alors que d'une manière générale les effets du stress thermique sont surtout traités sous l'angle de la dégradation des capacités énergétiques. Cette approche à dominante physiologique pourrait laisser supposer que seules les activités de nature énergétique sont susceptibles d'être affectées par la chaleur et que des activités plus techniques n'auraient pas à en redouter les effets. Il semble au contraire que le système informationnel soit largement sensible à la charge thermique.

3. Modèles explicatifs.

3.1. Charge thermique et activation.

Nous avons évoqué précédemment les expériences de Mackworth (1950) et Pepler (1958), mettant en évidence une relation à optimum entre température ambiante et performance dans des tâches de vigilance. Grether (1973) est extrêmement précis, puisqu'il affirme que le niveau optimal de vigilance apparaît à 26.7°C en température effective. Ces relations à optimum entre stress thermique et performance ont fondé une interprétation de l'action de la chaleur médiée par l'activation. Divers auteurs ont ainsi expliqué les divergences de résultats d'une expérience à l'autre, notamment par le postulat selon lequel l'optimum d'activation varie en fonction de la nature et de la difficulté de la tâche (Poulton, 1977; Provins, Glencross, & Cooper, 1973; Wilkinson, Fox, Goldsmith, Hampton, & Lewis, 1964).

Easterbrook (1959) propose un modèle selon lequel les relations entre activation et performance peuvent être expliquées par un rétrécissement du champ attentionnel, proportionnel au niveau d'activation. Dans un premier temps, ce rétrécissement éliminerait les signaux non pertinents et permettrait une focalisation de l'attention du sujet sur la tâche. Mais au-delà d'un certain seuil, certains éléments pertinents de la tâche seraient exclus du champ attentionnel et la performance se dégraderait. Certains travaux réalisés dans le cadre du stress thermique tendent à valider cette hypothèse explicative. (Bursill, 1958; Provins, & Bell, 1970). Par exemple Bursill (1958) demande à ses sujets de répondre à une tâche centrale de poursuite et à une tâche périphérique de détection de signaux plus ou moins excentrés, à différents niveaux de charge thermique. Avec l'augmentation de la chaleur, l'omission des signaux les plus excentrés est de plus en plus fréquente, et ce d'autant plus que l'exposition est longue. En outre, cet effet

n'apparaît plus lorsque la difficulté de la tâche centrale est réduite. Ceci indique que ce rétrécissement attentionnel implique les processus centraux, et non les mécanismes périphériques.

3.2. Température corporelle et performance.

De nombreux auteurs ont cherché à mettre en corrélation température corporelle et performance. D'une manière générale, aucune relation directe n'est mise en évidence entre la température interne instantanée et la performance (Weiner et Hutchinson, 1945; Pepler, 1958; Mackworth, 1945). Même si d'une manière générale on trouve au niveau des données moyennes des corrélations significatives entre température corporelle et performance, ces relations disparaissent au niveau individuel, si l'on contrôle l'influence du facteur température ambiante.

Hancock (1986) estime qu'il convient, pour analyser les résultats expérimentaux dans ce domaine, de parvenir à cerner le plus précisément possible d'*état thermique* des sujets. Il distingue trois états différents, pouvant avoir des effets différenciés sur la performance. Le premier est un état dynamique, durant lequel la température corporelle des sujets s'élève sous l'effet de la charge thermique. Le second est un état hyperthermique stable, c'est-à-dire que la température corporelle est anormalement élevée mais stabilisée à ce niveau. Enfin dans la troisième condition la température corporelle ne change pas, en dépit de la modification de la température ambiante.

Selon Hancock, un changement dynamique de la température corporelle réduit la vigilance des sujets. Ainsi dans l'expérience de Mackworth (1950), l'exposition à 21°C durant deux heures entraîne une réduction moyenne de 0.6°C de la température corporelle. Par ailleurs, il semble que l'exposition à une température supérieure à 29.4°C entraîne une augmentation non compensable de la température corporelle, dont l'importance dépend de la température effective et de la durée d'exposition (Grether, 1973; Houghten & Yagloglou, 1923). Les deux plus fortes charges thermiques utilisées par Mackworth (31°C et 36°C) dépassent ce seuil, et l'auteur relève en effet une hausse de la température rectale après deux heures d'exposition. Ces éléments permettent une autre lecture des résultats de Mackworth: dès que la température ambiante génère une modification dynamique de la température corporelle (positive ou négative), non compensée par les boucles homéostatiques, le niveau de performance décroît.

Cette hypothèse peut permettre d'expliquer également les résultats enregistrés par Viteles et Smith (1946), qui soumettent leur sujets à 22.8°C, 26.7°C, et 30.6°C. Les sujets réalisent une tâche de vigilance. Les résultats indiquent une détérioration significative de la performance dans la troisième condition. Or cette condition est la seule qui excède le seuil de 29.4°C; et les auteurs notent en effet une élévation de 0.8°C en moyenne au niveau de la température corporelle de leurs sujets.

Ce ne serait donc pas les conditions climatiques par elles-mêmes qui entraîneraient la détérioration des performances, mais les changements de température corporelle qui y sont associés (Bell, Provins et Hiorns, 1964; Provins, & Bell, 1969). A l'appui de cette thèse, on peut également évoquer une expérience de Fraser (1957), qui montre que la dégradation de la performance dans une tâche de vigilance suite à

l'exposition à la chaleur subsiste si la tâche est réalisée juste après la période d'exposition.

Certains résultats expérimentaux cependant demeurent difficilement explicables au travers de ce modèle. Par exemple Wyon (1974) reporte une dégradation significative de la performance dans une tâche de frappe à la machine, à 24°C vs 20°C. Certaines dégradations peuvent donc survenir à des niveaux de charge thermique modérés. Par ailleurs, on observe parfois une amélioration significative des performances, au tout début de l'exposition à la chaleur (par exemple Provins, & Bell, 1969). Une hypothèse liée l'élévation instantanée de l'activation semble dans ce cas la plus plausible.

Certaines expériences ne reportent pas de modifications notables de la performance lors de l'exposition à la chaleur. D'une manière générale, dans ces expériences, on n'observe pas non plus de variation au niveau de la température corporelle, ce qui va dans le sens de l'hypothèse développée par Hancock. Cette absence d'effet peut être notamment due à une exposition trop courte: on a vu qu'une exposition de plus d'une demi-heure semble nécessaire pour entraîner une altération non compensable de la température corporelle. Ce n'est donc pas la température ambiante en soi qui affecte la performance, mais la combinaison de la température et de la durée d'exposition, susceptible de perturber la température corporelle.

Enfin Wilkinson et al. (1964) étudient l'effet de l'hyperthermie statique sur la performance dans une tâche de vigilance. La température interne est élevée par exposition à une température externe de 43°C ET, puis maintenue par le port d'une combinaison spéciale. La performance des sujets est significativement améliorée, et d'autant plus que la température interne a été stabilisée à un niveau élevé. Hancock en conclut que ce n'est pas le niveau absolu de la température corporelle qui détermine la dégradation des performances, mais bien ses modifications dynamiques, non contrôlées. Les processus cognitifs seraient sensibles aux fluctuations de la température corporelle, et aux modifications associées dans la température du système nerveux central. Au-delà du seuil à partir duquel la température corporelle est perturbée, la performance se dégrade, et cette évolution est de forme exponentielle (Bell, Provins, & Hiorns, 1964; Hancock, 1986). Cette dégradation positivement accélérée est isomorphe à l'évolution des variables physiologiques, sous l'influence de conditions thermiques extrêmes.

Le mécanisme par lequel les modifications dynamiques de la température corporelle influence le fonctionnement cognitif reste à élucider. Hancock avance l'hypothèse d'un épuisement des ressources lié à ces modifications internes, hypothèse somme toute compatible avec celle du rétrécissement du champ attentionnel défendue par Bursill (1958).

3.3. Confort thermique et performance.

Un troisième modèle explicatif a été développé, évoquant l'importance de la sensation d'inconfort thermique dans la détérioration de la performance. D'une manière générale, l'exposition au stress thermique a des retentissements sur le plan émotionnel. Les auteurs décrivent notamment une augmentation significative de l'irritabilité, un sentiment de lassitude, et un sentiment de baisse de la vigilance (Holland et al., 1985; Weiner, & Hutchinson, 1945). Néanmoins la plupart des auteurs ont préféré rechercher au niveau physiologique les causes de l'altération des performances. Certains cependant accordent un rôle prédominant aux affects dérivés de la situation (Allnut & Allan, 1973; Epstein *et al.*, 1980), voire proposent des modèles plus complexes, intégrant les causalités physiologique et psychologique (Allan & Gibson, 1979).

Selon Allnut et Allan (1973), la principale cause de l'inconfort thermique réside dans l'élévation de la température de la peau. Ils réalisent une expérience associant une élévation de la température profonde (vers 38.5°C) et un maintien de la température de la peau compatible avec une sensation de confort thermal, grâce à une combinaison réfrigérée. La tâche étudiée est un test de raisonnement non-verbal. Les résultats indiquent que la vitesse est améliorée de manière significative, résultat qui avait déjà été obtenu dans une expérience précédente sans refroidissement de la peau. Par contre le sujets réalisent simultanément moins d'erreurs, alors que l'expérience précédente avait débouché sur une augmentation significative du nombre d'erreurs (Figure 5). Selon les auteurs, la température interne influencerait, sur un mode plus physiologique que psychologique, la rapidité des réponses. Par contre le degré de confort serait un élément déterminant dans la précision des réponses. Plus spécifiquement, les sujets chercheraient à échapper au plus vite à une situation inconfortable, et par voie de conséquence abaisseraient leur critère de réussite sur la tâche.

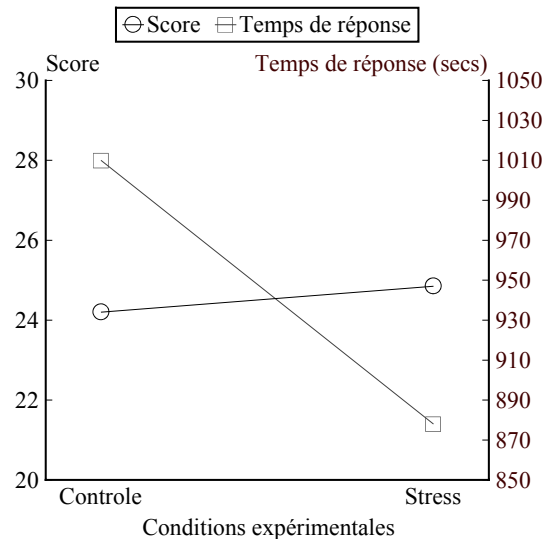


Figure 5: Score et temps de réponse dans un test de raisonnement non verbal, en condition normale et sous stress thermique avec refroidissement de la température de la peau (d'après Allnut & Allan, 1973).

Une explication de même nature est invoquée par Epstein *et al.* (1980): les auteurs, étudiant l'évolution de la performance dans une tâche psychomotrice complexe à 21°C, 30°C et 35°C ET, obtiennent une dégradation significative à partir du second palier. Or il ne s'agit qu'au dernier palier que des modifications physiologiques significatives apparaissent, au niveau de la température corporelle ou de la fréquence cardiaque. Les auteurs en concluent que c'est moins les modifications de température corporelle que le sentiment d'inconfort qui est la cause de la dégradation de la performance.

Allan et Gibson (1979) analyse l'évolution de la performance dans une tâche de poursuite rotative, lors de cycles de réchauffement et de refroidissement contrôlée par une combinaison spéciale. La température interne varie de 37.9°C à 38.5°C. La performance est significativement dégradée dans les phases de réchauffement, par rapport aux phases de refroidissement. La performance apparaît étroitement corrélée avec la sensation de confort thermique, et semble plus étroitement liée à la température de la peau qu'à la température interne. Les auteurs concluent que l'inconfort dû à la chaleur peut être vécu comme une menace, et déterminer en temps que distracteur le niveau de performance. Dans un effort théorique pour concilier cette hypothèse et les théories de l'activation, ils se réfèrent au modèle de Broadbent (1971) postulant deux mécanismes distincts: un niveau inférieur responsable d'une activation physiologique de base, et un niveau supérieur de nature cognitive régulant le précédent. Les auteurs suggèrent que la température interne pourrait déterminer le niveau inférieur, et la température de la peau, par son action sur la sensation de confort, le niveau supérieur. Il est à noter que cette distinction de deux niveaux, physiologique et cognitif, est actuellement reprise dans les théories de l'anxiété (Martens, Vealey, & Burton, 1990).

Ces modèles explicatifs présentent de nombreux points communs. Dans l'état actuel des connaissances, il est difficile de trancher en faveur de l'un ou de l'autre. On peut reprocher aux explications relevant des théories de l'activation leur caractère peu contraignant, leur permettant en fait d'expliquer toutes sortes de résultats, fussent-ils apparemment contradictoires. L'hypothèse d'Hancock (1986) sur l'importance de la modification dynamique de la température interne n'a été élaborée que par rapport aux travaux portant sur des tâches de vigilance, et est malmenée par certains résultats expérimentaux (Epstein *et al.*, 1980, Holland *et al.*, 1985). Le modèle d'Allan et Gibson (1979) paraît peut-être le plus pertinent, quoique présentant encore un caractère largement supputatif.

Enfin certains éléments doivent encore être pris en considération. Notamment des effets périphériques sont susceptibles de s'ajouter à la contrainte centrale. Poulton (1977) note par exemple que la chaleur entraîne davantage d'erreurs dans une tâche de détection pour des signaux visuels que pour des signaux auditifs. Selon l'auteur, cette sensibilité différentielle à la chaleur pourrait être liée au fait que l'oeil est particulièrement sensible à l'excès de sudation. Un problème moins évoqué mérite également d'être souligné: les sujets exposés à la chaleur présentent couramment, sans en avoir conscience, un état avancé de déshydratation. D'une manière générale, lors d'une exposition à la chaleur, les sujets ne compensent pas spontanément, même si on

leur en donne la possibilité, leurs pertes hydriques. On a même parlé de "déshydratation volontaire" (Epstein et al., 1980).

4. Facteurs modulant les effets de la charge thermique.

Dans les parties précédentes, nous avons passé en revue les principaux résultats et les hypothèses majeures avancées dans ce champ. Certains travaux ont montré que des facteurs liés soit à la tâche, soit au sujet étaient susceptibles de moduler les effets de la charge thermique. C'est le cas notamment de l'expertise des sujets, de la difficulté de la tâche, des facteurs motivationnels, de l'acclimatation, des facteurs constitutifs et de personnalité. Il nous semble intéressant de les développer de manière spécifique, car ils renvoient pour la plupart à des traits marquants des situations sportives. Par ailleurs, leur étude pourra permettre d'éclairer et de préciser les grands cadres explicatifs développés précédemment.

4.1. Expertise, charge thermique et performance.

Les sujets experts faisant appel à des procédures largement automatisées, il est logique de prédire que leur performances seront plus résistantes au stress thermique. Les processus automatisés sont en effet conceptualisés comme indépendants des ressources, et donc insensibles à la restriction des ressources disponibles (Schiffman & Schneider, 1977).

Mackworth (1950) note en effet que les effets de la température et de la durée d'exposition à la chaleur sont en partie compensés par l'expertise des sujets: les sujets qui possèdent une expérience dans la tâche sont moins perturbés par le stress thermique. Un autre travail de Mackworth (1945), bien qu'étudiant une tâche sollicitant peu la motricité, présente des résultats fondamentaux sur ce problème de l'expertise. Dans une tâche de retranscription de messages en morse, Mackworth distingue trois groupes de sujets, "compétents", "très bons" et "exceptionnellement habiles". Les premiers font 30.9 erreurs par heures à 26.1°C ET, 40.7 à 30.8°C, et 174.9 à 36.1°C. Les scores correspondants sont de 6.2, 7.9 et 99.8 pour les seconds, 2.9, 2.5 et 6.2 pour les troisièmes (Figure 6). Le degré d'expertise tend à repousser le seuil de dégradation de la performance, et à diminuer l'ampleur de cette dégradation. Il est à noter que cette expérience ne compare pas des opérateurs experts et novices, mais des opérateurs de niveaux d'expertise différents.

Ce résultat montre l'intérêt de l'automatisation des procédures de traitement dans la résistance au stress. Il convient néanmoins de le resituer dans son contexte: les sujets de Mackworth travaillaient à un rythme imposé moyen. Les sportifs en général sont confrontés à des exigences de nature supérieure, et aux développements souvent incertains. Si l'automatisation leur permettra de préserver certains aspects de la performance face au stress thermique, d'autres resteront sensibles aux ressources et seront susceptibles de dégradations sévères.

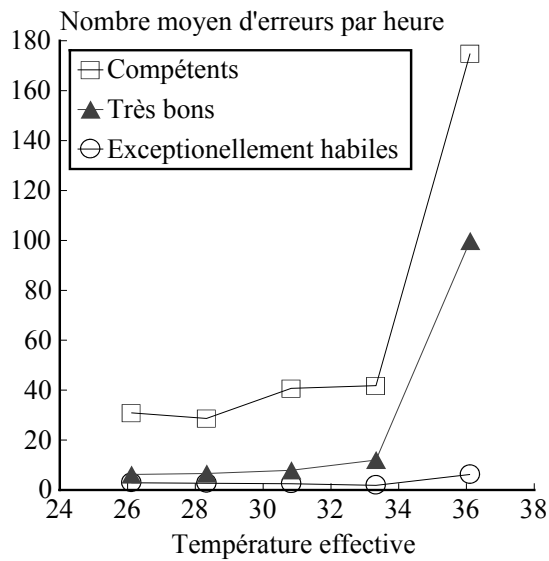


Figure 6: Nombre moyen d'erreurs par heure dans une tâche de retranscription de messages en morse, en fonction de la charge thermique et de l'expertise des sujets (d'après Macworth, 1945).

4.2. Difficulté de la tâche et charge thermique.

Dans une logique similaire à celle développée précédemment, si l'on suppose qu'une tâche difficile est plus consommatrice de ressources qu'une tâche facile, on peut faire l'hypothèse que la dégradation de la performance liée à la chaleur sera d'autant plus importante que la tâche sera difficile. Cet effet a été démontré par Carlson (1961), sur trois tâches de vigilance de difficulté croissante. Si la chaleur (33°C versus 20°C) n'a pas d'influence sur les tâches facile et intermédiaire, elle entraîne une dégradation significative de la performance pour la tâche difficile. Selon l'auteur, les différentes sources de stress (ici, la température d'une part, et la difficulté d'autre part), s'additionnent dans une structure commune. En d'autres termes, il y aurait compétition entre le stress thermique et la tâche pour l'investissement d'un même pool de ressources. L'hypothèse du rétrécissement du champ attentionnel, développée précédemment, est également susceptible de rendre compte de ce résultat: moins de ressources demeurant disponibles sous stress thermique, les tâches les plus difficiles sont les plus affectées. Epstein et al. (1980) obtiennent également une interaction nette entre charge thermique et difficulté de la tâche, dans une situation sensori-motrice complexe: la performance dans une tâche facile n'est que peu détériorée, alors que dans tâches plus exigeantes on décrit des dégradations sévères (Figure 7).

Ces résultats suggèrent que la performance dans les tâches sportives de haut-niveau soit particulièrement sensible au stress thermique.

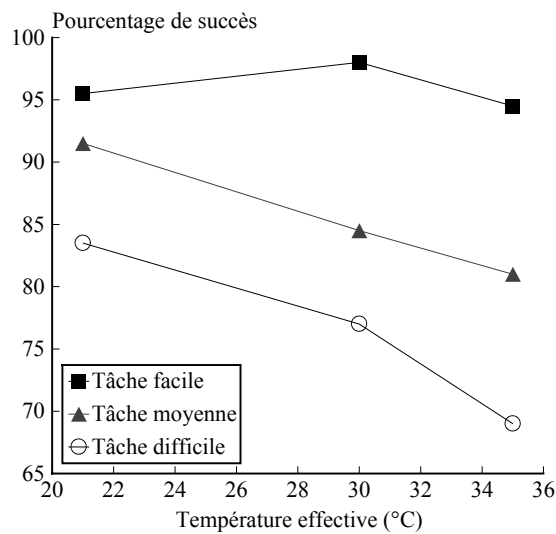


Figure 7: Charge thermique et pourcentage de succès dans une tâche sensori-motrice complexe, en fonction de la difficulté de la tâche (d'après Epstein et al., 1980)

4.3. Incitations de performance et charge thermique.

Les incitations de performance renvoient à un ensemble de procédures destinées à accroître la motivation des sujets (performance-cible, connaissance des résultats, encouragements). Certains auteurs ont cherché à savoir si les incitations de performance étaient susceptibles de compenser l'effet de dégradation lié à la chaleur. Les études réalisées débouchent sur des résultats contrastés, qu'il convient d'analyser finement.

Mackworth (1950) montre que la performance dans une tâche demandant un effort physique intense se dégrade au fur et à mesure que la chaleur augmente, que les sujets soit incités ou non à la performance. Les effets de la chaleur ne semblent donc pas pouvoir être compensés par les incitations. La dégradation semble d'ailleurs plus importante chez les sujets les plus performants et dans la condition à forte incitation. Selon Mackworth, l'effet du climat est plus marqué lorsque les sujets engagent la totalité de leurs ressources dans la tâche (soit pour atteindre un haut niveau de performance, soit parce que le sujet n'est pas expert...). Un effet similaire est mis en évidence par Watkins (1956, cité par Wilkinson, 1969), qui met en évidence une interaction entre incitation de performance et chaleur dans une tâche de tracking. Cette interaction indique que l'incitation tend à accroître la vulnérabilité de la performance: les effets de la chaleur deviennent significatifs à 30°C ET sous incitation, contre 32.7°C ET sans incitation.

Pepler (1958) étudie également les effets conjoints de la température et des incitations de performance dans une tâche de tracking. Les résultats ne mettent en évidence aucune interaction entre les deux facteurs expérimentaux (Figure 8). Nous avons déjà évoqué (cf. Partie 3.) l'intérêt théorique de cette additivité des effets de la chaleur et de l'effort. En outre Pepler note que la performance à forte chaleur et avec

incitation est meilleure que la performance en conditions normales et sans incitation. Ce résultat suppose que placé dans un environnement thermique défavorable, un sujet peut durant quelques heures maintenir un niveau stable de performance, en investissant davantage d'effort sur la tâche. Fine et Kobrick (1978) ont également montré que des sujets motivés pouvaient résister durant deux heures à une température de 33°C ET, sans réduction significative de la performance dans une tâche de vigilance. Au-delà, on observe une dégradation significative de la performance, que les incitations de performance ne peuvent compenser. Par contre Epstein et al. (1980), bien que motivant leurs sujets par une tâche signifiante, une situation compétitive, et la perspective d'une récompense au vainqueur, ne peuvent éviter une dégradation des performances dès 30°C ET.

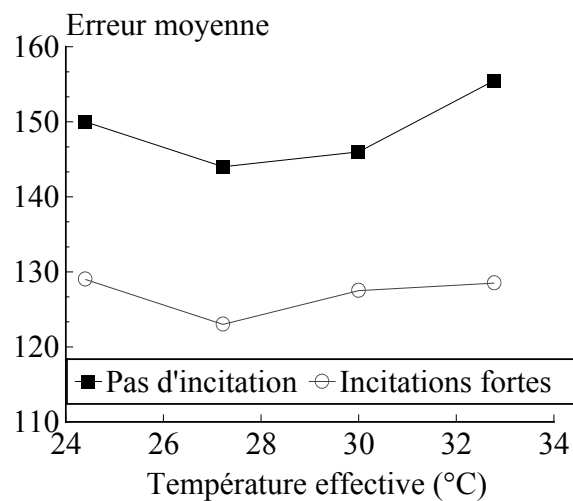


Figure 8: Effets des incitations de performance et de la température effective sur la performance dans une tâche de tracking (d'après Pepler, 1958).

Ces résultats apparaissent dans l'ensemble contradictoires. On peut supposer néanmoins que ces divergences proviennent de la sensibilité à l'effort des performances étudiées. Selon Norman et Bobrow (1975), la majeure partie des processus sont limités par les ressources, c'est-à-dire que l'investissement d'effort supplémentaire débouche sur une amélioration de la performance. Néanmoins au-delà d'un certain seuil le niveau de performance devient insensible à l'allocation supplémentaire de ressources: le processus a atteint un stade de limitation par les données. Plus généralement, on peut dire qu'une performance moyenne peut être améliorée par l'effort, ce qui n'est plus vrai pour une performance maximale. Ces principes pourraient expliquer les résultats de Mackworth décrivant une vulnérabilité supérieure à la chaleur chez les sujets réalisant de bonnes performances et travaillant de surcroît sous incitation, ainsi que l'interaction surprenante de Watkins. Quant aux résultats de Pepler, ils suggèrent que les sujets en conditions normales étaient en deçà de leurs capacités maximales, ce qui permettait une bonne sensibilité de leurs performance à l'investissement d'effort. D'une manière générale, Fine et Kobrick (1978) soulignent que l'inconsistance des résultats enregistrés dans la littérature sont liés aux différences de motivation entre sujets, confrontés à des tâches abstraites de laboratoire.

Ces considérations semblent importantes dans le domaine sportif, dans la mesure où les sujets réalisent généralement leurs performances sous investissement maximal. On peut s'attendre dans ce cas à ce que la dégradation liée à la chaleur puisse difficilement être compensée par des facteurs motivationnels.

5. L'acclimatation.

Le processus physiologique de l'acclimatation n'est pas encore parfaitement connu. On peut néanmoins le définir par ses effets: il s'agit d'une modification physiologique qui a pour résultat de réduire le niveau de stress provoqué par un stresser thermique donné (McPherson, 1973). Dans le domaine qui nous préoccupe ici, l'acclimatation est considérée comme un facteur déterminant dans la résistance de la performance au stress thermique (Wilkinson, 1969). Certains auteurs ont pu décrire des processus d'acclimatation au cours d'exposition prolongées à la charge thermique: par exemple Pepler (1958) répète trois jours consécutifs un protocole d'exposition à la chaleur dans une tâche de vigilance visuelle d'une durée de deux heures. Les résultats montrent qu'au-delà de la première demi-heure, le nombre d'erreur augmente de manière significative. Cette augmentation tend à être moins importante au fil des trois jours, la résistance à la dégradation étant surtout marquée dans la dernière demi-heure d'expérimentation. Dans une expérience de Weiner et Hutchinson (1945), un sujet non acclimaté demeure durant 13 jours dans une atmosphère chaude et humide, à une température variant de 27.8°C à 35°C ET. Le sujet subit auparavant un programme d'apprentissage dans une tâche de coordination bi-manuelle complexe, jusqu'à stabilisation de la courbe d'apprentissage. Les quatre premiers jours, ses performances présentent une dégradation de l'ordre de 11%. Par contre, durant les six derniers jours il retrouve le niveau de performance qu'il avait en fin de programme d'apprentissage. L'expérience portant sur une tâche automatisée au préalable, les auteurs attribuent à l'acclimatation l'évolution positive de la performance.

Sur le plan physiologique, l'acclimatation à court terme résulte de la mise en place de processus compensateurs pour lutter contre la chaleur: une vaso-dilatation périphérique favorise les pertes par convection et s'accompagne de tachycardie, d'hypotension et d'augmentation du débit cardiaque. D'autre part on assiste à un accroissement de la sudation. Cette dernière qui est en condition normale d'un litre par jour peut dans certains cas atteindre un litre par heure. Parsons (1993) parle d'un véritable "entraînement" des glandes sudoripares à produire davantage de sueur. Clark & Edholm (1985) montrent que la sudation double en moyenne lors d'un programme d'acclimatation de 5 jours (quatre heures d'exposition journalière). Lind & Bass (1963) obtiennent des résultats similaires lors d'un programme de 9 jours. Parallèlement, la température rectale moyenne baisse de 39.3°C à 38°C, et la fréquence cardiaque moyenne de 170 à 130 bat. min⁻¹. Ces mécanismes permettent dans un premier temps de sauvegarder le confort thermique. A plus long terme, se produit une réaction lente qui adapte la sécrétion thyroïdienne et les métabolismes afin d'ajuster exactement les combustions aux besoins.

Pratiquement, l'acclimatation peut être réalisée soit sur site, soit de manière artificielle dans des chambres climatiques. L'acclimatation artificielle présente

évidemment l'avantage d'être moins onéreuse, et semble en fait remarquablement efficace. Pepler (1958) ne trouve pas de différence entre des sujets acclimatés de manière artificielle et des sujets acclimatés de manière naturelle par un séjour de 6 mois sous les tropiques. Ce résultat peut néanmoins être relativisé par une recherche de terrain réalisée par Edholm (1963): l'auteur compare trois groupes de sujets: le premier a été acclimaté naturellement par un séjour en région tropicale, le second de manière artificielle en chambre climatique, et le troisième n'a subi aucune acclimatation. Les sujets participent à un séjour de 12 jours dans une zone de désert. La température corporelle est plus élevée chez les sujets non acclimatés, et il y a peu de différences entre les deux groupes acclimatés. Aucune différence n'est mise en évidence entre groupes dans une série de tests de vigilance, d'intelligence ou de mémoire à court terme. Au niveau des problèmes cliniques (baisse de forme, diarrhées, maladies diverses), les sujets acclimatés naturellement semblent plus résistants que les autres. Le groupe non acclimatés et le groupe acclimaté artificiellement ont un nombre équivalent de problèmes de santé, bien que durant les trois premiers jours, le groupe non acclimaté ait été davantage concerné par ces problèmes. Une évaluation globale de la performance a été réalisée par un groupe d'observateurs indépendants. D'une manière générale le groupe acclimaté naturellement a les meilleures performances, et le groupe non acclimaté les moins bonnes. Le groupe acclimaté artificiellement est dans une position intermédiaire au début du séjour, et au niveau du groupe contrôle vers la fin.

L'acclimatation semble s'installer dans un délai relativement court. Parsons (1993) préconise des procédures d'acclimatation artificielle à raison d'une heure par jour, durant quatre jours, la température sublinguale étant élevée et maintenue à 38.8°C par l'exposition à un climat de 47°C DB/32°C WB, et par la pratique d'exercices physiques. Lind et Bass (1963) confirment que les principaux progrès sont réalisés lors des 5 premiers jours. Au-delà, les divers paramètres mesurés tendent à se stabiliser. Ces propositions contrastent avec les procédures plus anciennes de Mackworth (1945; 1950), étaient réparties sur trois à six semaines, à raison de trois heures d'exposition journalière. Souvent les programmes d'acclimatation associent l'exercice à l'exposition à la chaleur. L'intérêt de l'exercice semble néanmoins résider uniquement dans sa participation à l'élévation de la température corporelle et de la sudation. Une exposition passive à la chaleur peut donc se révéler aussi efficace qu'un programme actif. Cette remarque est importante dans le cas où l'on ne disposerait pas de chambre climatique suffisamment spacieuse.

Néanmoins il est peut être prématuré de conclure à ce niveau: par exemple Weiner et Hutchinson (1945) décrivent une dégradation de la performance dans une tâche de coordination bi-manuelle, avec un groupe de sujets préalablement acclimatés au travail physique dans les ambiances chaudes. De tels résultats suggèrent que l'acclimatation soit un processus spécifique à une tâche donnée, plutôt qu'une adaptation générale. Ce type d'hypothèse n'a à notre connaissance pas encore été testée, mais impliquerait non seulement une exposition à la chaleur, mais encore la réalisation d'entraînements en ambiance chaude.

L'acclimatation naturelle doit également être menée avec précaution. Yaglou et Minard (1957) proposent pour les soldats de l'armée américaine des périodes d'acclimatation d'une à trois semaines, avec exposition progressive à la chaleur et

augmentation progressive de la charge de travail (Yaglou, & Minard, 1957). Aucune tentative ne doit être faite d'endurcir les sujets par une exposition trop aigüe au soleil ou des charges de travail trop importantes. Le respect d'une sieste et d'un sommeil de sept à huit heures sont nécessaires. McPherson (1973) propose les éléments suivants pour favoriser l'adaptation au climat tropical: ne pas être trop vêtu, éviter l'absorption excessive d'aliments, boire en quantité suffisante pour compenser la perte d'eau due à la transpiration, éviter les dépenses énergétiques, tenter de réserver les tâches les plus contraignantes aux heures les plus fraîches de la journée. Un apport supplémentaire de sel doit également être envisagé.

L'acclimatation présente enfin quelques caractéristiques qu'il peut être intéressant de garder en mémoire. Tout d'abord il semble que les sujets en bonne condition physique semblent s'acclimater plus facilement (Parsons, 1993). Cette remarque reste marginale en ce qui concerne les sportifs de haut-niveau, qui selon les critères de la psychologie générale sont tous en excellente condition physique. En second lieu les effets d'un programme d'acclimatation s'estompent progressivement à l'arrêt de l'exposition et disparaissent complètement au bout d'un mois. L'acclimatation n'a donc pas à être trop précoce, et peut juste précéder le départ sur le site. Troisièmement, il est à noter que le niveau de neutralité thermique, c'est-à-dire le niveau préféré de température, n'est pas affecté par le processus d'acclimatation. C'est-à-dire que même acclimaté, le sujet gardera conscience d'être dans un environnement thermique inhabituel, même s'il souffre moins que lors des premières expositions.

6. Différences interindividuelles

Divers auteurs ont relevé de nettes différences interindividuelles dans l'effet de la chaleur sur la performance (Arees, 1963; Hancock, 1986). Beshir, El-Sabagh et El-Nawawi (1981) montrent ainsi que les performances d'un groupe de sujets dans une tâche de tracking sont beaucoup plus hétérogènes à 26°C et 30°C qu'à 20°C. On peut supposer que les différences interindividuelles, au niveau de l'efficacité des systèmes de thermorégulation, sont en grande partie responsables de ces disparités.

Les différents modèles présentés précédemment, qu'ils fassent référence aux théories de l'activation ou à l'évolution de la température corporelle, peuvent également permettre quelques hypothèses au niveau de l'influence de certains traits de personnalité sur la réaction au stress thermique. Confronté à une température effective donnée, on peut supposer qu'un individu présentant une température corporelle relativement basse sera moins sujet aux dégradations de performance (Wilkinson, 1969). Il faut noter à ce sujet que la température corporelle évolue selon un rythme journalier, décrivant des phases de hautes et de basses températures. Ce phénomène justifie pleinement les précautions prises par l'ensemble des auteurs que nous avons cités pour standardiser les horaires de passation de leurs expériences. Blake (1971) a montré que la phase du rythme diurne de la température était liée à l'impulsivité. L'impulsivité constitue une dimension primaire du facteur d'extraversion, caractérisée par le caractère spontané et non réfléchi de la conduite et la prise de risque. Les sujets impulsifs présentent le matin des températures plus basses que les sujets peu impulsifs, et le soir le schéma s'inverse. Il est à noter qu'une lecture similaire peut être faite en terme d'activation, dans la mesure

où la température corporelle est considérée comme un indice valide du niveau d'activation des sujets. Un certain nombre de recherches ont en effet validé l'hypothèse selon laquelle les sujets impulsifs étaient moins activés le matin que les sujets peu impulsifs, mais davantage activés le soir (Revelle, Anderson, & Humphreys, 1987; Revelle, Humphreys, Simon, & Gilliland, 1980). Ces éléments permettent de prédire que les sujets impulsifs devraient être moins affectés par la charge thermique dans la matinée, mais davantage le soir.

Une autre dimension pouvant se révéler intéressante est l'anxiété. L'anxiété, en tant que trait de personnalité, est définie comme une prédisposition à percevoir les situations comme menaçantes et à y répondre par des états d'anxiété élevés (Delignières, 1993; Martens, Vealey & Burton, 1990). S'il est vrai que la sensation d'inconfort thermique est liée au vécu de sa propre température de peau en tant que menace, on peut faire l'hypothèse que les sujets anxieux tendent à ressentir un inconfort plus important, à température effective équivalente, que les sujets émotionnellement stables. L'anxiété pourrait de ce fait constituer un facteur favorisant la dégradation des performances à la chaleur, alors qu'à l'inverse la stabilité émotionnelle pourrait permettre une meilleure résistance.

Ces hypothèses, liant traits de personnalité et charge thermique, n'ont à notre connaissance pas encore été testées de manière systématique. On peut noter cependant que des hypothèses similaires ont été étudiées avec succès par rapport à d'autres types de stressors (Dornic, 1986).

7. Influence spécifique de l'humidité.

Le climat tropical est caractérisé par des taux relatifs d'humidité importants. Si d'une manière générale les auteurs prennent en compte ce facteur dans le contrôle de la charge thermique, peu d'études ont porté de manière spécifique sur son influence. Certains travaux ont tenté d'en étudier l'impact, en confrontant les sujets à des climat de température effective équivalente, mais obtenus avec des combinaisons différentes de température sèche et d'humidité.

Les résultats obtenus ne sont guère convaincants: Fine, Cohen et Crist (1960) ne mettent en évidence aucun effet significatif de l'humidité sur une tâche mentale de résolution d'anagrammes et sur une tâche de discrimination auditive. Hohnsbein, Piekarski et Kampmann (1983), dans leur expérience sur la sensibilité aux contrastes, ne mettent en évidence aucune différence entre un climat chaud et humide (38.5°C DB, 65% hum.), et un climat très chaud et sec (50°C DB, 10% hum.). Pepler (1958) étudie la performance dans une tâche de tracking, à quatre niveaux de température effective (22.2°C, 26.1°C, 28.9°C et 33.3°C), et deux niveaux d'humidité relative (20% et 80%). Seule la température a un effet significatif, bien que l'effet humidité soit près de la significativité. L'auteur ne semble pas avoir testé l'effet d'interaction entre chaleur et humidité. Il semble néanmoins qu'à 20% d'humidité, la performance se dégrade entre 26.1°C et 28.9°C, alors qu'à 80%, la dégradation survient plus tôt, entre 22.2°C et 26.1°C (Figure 9). Le seuil critique de dégradation des performances pourrait être plus

bas en atmosphère humide qu'en atmosphère sèche. Selon l'auteur, l'humidité est un facteur d'autant plus prégnant, au niveau subjectif, qu'elle est associée à la chaleur.

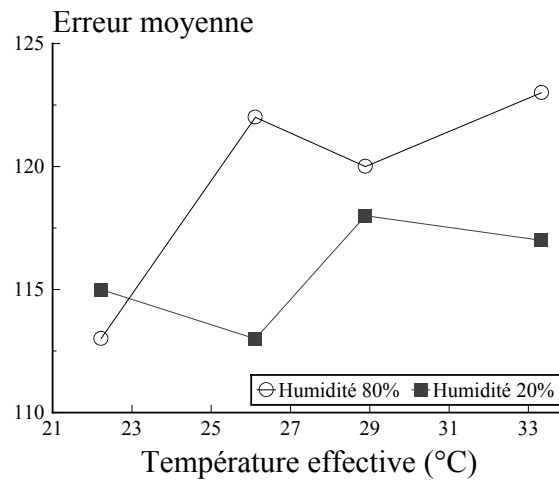


Figure 9: Effets de la température effective et de l'humidité relative sur la performance dans une tâche de tracking (d'après Pepler, 1958).

Il est clair que l'humidité, affectant directement les capacités de thermorégulation de l'organisme, est un facteur déterminant de l'évolution des performances en climat tropical. Néanmoins il nous semble plus pertinent d'intégrer l'humidité dans une évaluation globale de la charge thermique (telle que la température effective ou le *WGBT index*), que d'envisager séparément température de l'air et humidité.

Conclusion

L'ensemble des travaux cités dans cette revue suggèrent que les processus sous-tendant la performance sportive sont susceptibles d'être altérés par l'exposition à une charge thermique excessive. Ce fait doit être pris en compte lors de compétitions se déroulant en zone tropicale. La charge thermique doit néanmoins être évaluée avec précision, l'effet de la température de l'air pouvant être modulé par l'humidité, le mouvement de l'air, et les sources radiantes. D'une manière générale, on peut estimer qu'une température effective avoisinant 28-29°C constitue un seuil au-delà duquel des dégradations lourdes de la performance sont à attendre.

Des procédures d'acclimatation, soit de manière artificielle avant le départ, soit sur place avant la compétition, doivent permettre d'atténuer les effets du stress thermique. Enfin les différences interindividuelles dans la résistance à la chaleur sont importantes, et il semble recommandable d'identifier les sujets les plus vulnérables et d'envisager à leur égard une préparation spécifique.

Notes

Delignières, D. (1994). Analyse des effets du stress thermique par la méthode des facteurs additifs. Rapports du Laboratoire de Psychologie du Sport de l'INSEP (en préparation).

Références.

Allan, J.R., & Gibson, T.M. (1979). Separation of the effects of raised skin and core temperature on performance of a pursuit rotor task. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 50, 678-682.

Allnut, M.F., & Allan, J.R. (1973). The effects of core temperature elevation and thermal sensation on performance. *Ergonomics*, 16, 189-196.

Arees, E.A. (1963). The effect of environmental temperature and alerting stimuli on prolonged search. Doctoral dissertation, University of Massachusetts, Amherst.

Bell, C.R., Provins, K.A. & Hiorns, R.W. (1964). Visual and auditory vigilance during exposure to heat and humid conditions. *Ergonomics*, 7, 279-282.

Beshir, M.Y., El-Sabagh, A.S., & El-Nawawi, M.A. (1981). Time on task effect on tracking performance under heat stress. *Ergonomics*, 24, 95-102.

Blake, M.S.F. (1967). Relationship between circadian rhythm of body temperature and introversion-extraversion. *Nature*, 215, 896-897.

Broadbent, D.E. (1971). *Decision and Stress*. London: Academic Press.

Bursill, A.E. (1958). The restriction of peripheral vision during exposure to hot and humid conditions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 10, 113-129.

Carlson, L.D. (1961). Human performance under different thermal loads (tech. Rep. No. 61-43). Brooks AFB, TX: U.S.A.F. Aerospace Medical Center, School of Aviation Medicine.

Carpenter, A. (1950). A comparison of the influence of handle load and of unfavorable atmospheric conditions on a tracking task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 2, 1-6.

Clark, R.P. & Eldholm, O.G. (1985). *Man and his thermal environment*. Londres: Edward Arnold.

Delignières, D. (1993). Anxiété et performance. In J.P. Famose (Ed.), *Cognition et performance* (pp. 235-254). Paris: Publications INSEP.

Dornic, S.M. (1986). Traitement de l'information, stress et différences interindividuelles. *Le Travail Humain*, 49, 61-73.

Edholm, O.G. (1963). Heat acclimatization studied in the laboratory and the field: A multidisciplinary approach. *Ergonomics*, 6, 303-304.

Epstein, Y., Keren, G., Moisseiev, J. Gasko, O., & Yachin, S. (1980). Psychomotor deterioration during exposure to heat. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 51, 607-610.

- Easterbrook, J.A. (1959). Effect of emotion on cue utilisation. *Psychological Review*, 66, 153-201.
- Fine, B.J., Cohen, A., & Crist, B. (1960). Effect of exposure to high humidity at high and moderate ambient temperature on anagram solution and auditory discrimination. *Psychological Reports*, 7, 171-181.
- Fine, B.J., & Kobrick, J.L. (1978). Effects of altitude and heat on complex cognitive tasks. *Human Factors*, 20, 115-122.
- Fraser, D.C. (1957). Some effects of heat stress on performance of a vigilance task under speed stress. *National Coal Board Medical Research Memorandum*, 1, 50-63.
- Grether, W.F. (1973). Human performance at elevated environmental temperature. *Aerospace Medicine*, 44, 747-755.
- Hancock, P.A. (1984). Environmental stressors. In J.S. Warm (Ed.), *Sustained Attention in Human Performance* (pp. 103-142). New York: John Wiley & Sons.
- Hancock, P. (1986). Sustained attention under thermal stress. *Psychological Bulletin*, 99, 263-281.
- Hohnsbein, J., Piekarski, C., & Kampmann, B. (1983). Influence of high ambient temperature and humidity on visual sensitivity. *Ergonomics*, 26, 905-911.
- Holland, R.L., Sayers, J.A., Keatinge, W.R., Davis, H.M. & Peswany, R. (1985). Effect of raised body temperature on reasoning, memory and mood. *Journal of Applied Physiology*, 59, 1823-1827.
- Houghten, F.C., & Yagloglou, C.P. (1923). Determining lines of equal comfort. *Transactions of the American Society of Heating and Ventilating Engineers*, 29, 1239-1246.
- Laplace, D., Audiffren, M., & Alain, C. (1993). Arguments en faveur de l'influence de la pression temporelle sur l'étape de sélection de la réponse. *Actes des Journées Internationales d'Automne de l'ACAPS* (pp. 217-218). Caen: ACAPS.
- Libert, J.P., Tassi, P., Bach, V., Nicolas, A., Belin, B., Wittersheim, G., & Keller, D. (1992). Privation partielle de sommeil et charge thermique: effets sur un test de vigilance. *Le Travail Humain*, 55, 219-236.
- Lind, A.R. & Bass, D.E. (1963). The optimal exposure time for the development of acclimatisation to the heat. *Federal Proceedings*, 22, 704-708.
- Mackworth, N.H. (1945). Effects of heat on wireless telegraphy operators hearing and recording morse messages. *British Journal of Industrial Medicine*, 3, 143-158.
- Mackworth, N.H. (1950). Researches on the measurement of human performance. *Medical Research Council Special Report Series 268*. London: Her Majesty's Stationary Office.
- Martens, R., Vealey, R.S., & Burton, D. (1990). *Competitive Anxiety in Sport*. Champaign, Ill.: Human Kinetics Books.
- McPherson, R.K. (1973). Thermal stress and thermal comfort. *Ergonomics*, 16, 611-623.

- Norman, D.A., & Bobrow, D.J. (1975). On data-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology*, 7, 44-64.
- Parsons, K.C. (1993). *Human thermal environments*. Londres: Taylor & Francis.
- Pepler, R.D. (1958). Warmth and performance: an investigation in the tropics. *Ergonomics*, 1, 63-88.
- Pepler, R.D. (1959). Warmth and lack of sleep: accuracy or activity reduced. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 52, 446-450.
- Poulton, E.C. (1977). Arousing stresses increase vigilance. In R.R. Mackie (Ed.), *Vigilance: Theory, operational performance and physiological correlates* (pp. 423-459). New York: Plenum Press.
- Poulton, E.C., Edwards, R.S., & Colquhoun, W.P. (1974). The interaction of the loss of a night's sleep with mild heat: Task variables. *Ergonomics*, 17, 59-73.
- Provins, K.A., & Bell, C.R. (1969). Effects of heat stress on the performance of two tasks running concurrently. *Journal of Experimental Psychology*, 85, 40-44.
- Provins, K.A., Glencross, D.J., & Cooper, C.J. (1973). Thermal stress and arousal. *Ergonomics*, 16, 623-631.
- Revelle, W., Anderson, K.J. & Humphreys, M.S. (1987). Empirical tests and theoretical extension of arousal-based theories of personality. In J. Strelau & H.J. Eysenck, *Personality dimensions and arousal* (pp. 17-36). New York: Plenum Press.
- Revelle, W., Humphreys, M.S., Simon, L. & Gilliland, K. (1980). The interactive effect of personality, time of day, and caffeine: a test of the arousal model. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 1-31.
- Sanders, A.F. (1980). Stage analysis of reaction processes. In G.E. Stelmach & J. Requin (Eds.). *Tutorials in Motor Behavior* (pp. 331-354). North-Holland Publishing Company.
- Sanders, A.F. (1983). Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychologica*, 53, 64-97.
- Sanders, A.F., Wijnen, J.L.C. & van Arkel, A.E. (1982). An additive factor analysis of the effects of sleep loss on reaction processes. *Acta Psychologica*, 51, 41-59.
- Shiffrin, R.M., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attention and a general theory. *Psychological Review*, 84, 1-66.
- Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages. *Acta Psychologica*, 30, 276-315.
- Viteles, M.S. & Smith, K.R. (1946). An experimental investigation of the effect of change in atmospheric conditions and noise upon performance. *Heating, Piping and Air Conditioning*, 18, 107-112.
- Weiner, J.S., & Hutchinson, J.C.D. (1945). Hot humid environment: Its effects on the performance of a motor co-ordination test. *British Journal of Industrial Medicine*, 2, 154-157.
- Wilkinson, R.T. (1969). Some factors influencing the effect of environmental stressors upon performance. *Psychological Bulletin*, 72, 260-272.

Wilkinson, R.T., Fox, R.H., Goldsmith, R., Hampton, I.F.G., & Lewis, H.E. (1964). Psychological and Physiological responses to raised body temperature. *Journal of Applied Physiology*, **19**, 287-291.

Wyon, D.P. (1974). The effects of moderate heat stress on typewriting performance. *Ergonomics*, **17**, 309-318.

Yaglou, C.P., & Minard, D. (1957). Control of heat casualties at military training centers. *A.M.A. Archives of Industrial Health*, **16**, 302-316.