

1. Hydratation, travail et chaleur

V. Candas ⁽¹⁾ et B. Bothorel ⁽¹⁾

Data sheet on hygiene and life at work. 1. Hydration, work and heat

In everyday life, at home and at work, even in moderate thermal conditions the human body loses water. The resulting hydro-mineral imbalance can have more or less harmful effects.

This article covers water losses, their origins and effects, and more particularly the effects of organic dehydration on the thermophysiological, cardiovascular and endocrinal responses of the human body. Setting aside all other nutritional aspects, the paper deals with rehydration by oral ingestion and its efficiency depending on the type of drink ingested.

Recommendations for workers and consultants are based on existing data in the specialized literature and on the results of scientific researches such as those carried out at the Laboratory of Environmental Physiology and Psychology (LPPE) in Strasbourg (UMR 32, CNRS/INRS).

Fluid losses / Sweating / Fluid intake / Dietary hygiene / Physiology.

Dans la vie de tous les jours, à la maison comme au travail, même en ambiance thermique modérée, notre organisme perd de l'eau et le déséquilibre hydrominéral qui en résulte peut avoir des conséquences plus ou moins graves.

Le présent article traite des pertes en eau, de leur origine, de leurs effets et plus particulièrement de ceux de la déshydratation organique sur les aspects thermophysologiques, cardio-vasculaires et endocriniens du corps humain. A l'exclusion de tout autre aspect nutritionnel, il y est discuté de la réhydratation par voie orale et de son efficacité en fonction du type de boisson ingérée.

Des recommandations à l'usage des personnes au travail ou des conseillers sont faites sur la base des connaissances actuelles exposées dans la littérature spécialisée ou acquises par l'expérimentation scientifique telle qu'elle est conduite au Laboratoire de physiologie et de psychologie environnementales à Strasbourg (UMR 32, CNRS/INRS).

Perte hydrique / Sudation / Boisson / Hygiène alimentaire / Physiologie

L'organisme humain perd de l'eau en permanence et dès que la perte de masse corporelle atteint entre 1 et 2%, les conséquences du déficit hydrique se font sérieusement sentir. En effet, nous évacuons quotidiennement environ 0,1 litre d'eau dans les excréments, 0,5 litre par la respiration (l'air expiré est saturé en vapeur d'eau), 1,0 litre par perspiration (diffusion à travers la peau) et 1,5 litre par excrétion urinaire (Meyer, 1983). Ainsi, même en l'absence d'activité, et avant même de tenir compte des effets de l'environne-

ment thermique, plus de 3 litres de liquide devront être remplacés chaque jour. De plus, pour maintenir en état ses fonctions vitales, l'homme doit disposer d'une température interne relativement constante. Ceci est possible grâce aux mécanismes thermorégulateurs qui maintiennent en équilibre les flux de chaleur produits par l'organisme et ceux échangés avec l'environnement. La chaleur interne dégagée par l'activité de nos cellules permet, au repos en ambiance thermique neutre, de maintenir notre température interne stable par le seul jeu des échanges convectifs, radiatifs et évaporatifs minimaux (respiration et perspiration). Mais, lorsque notre dépense énergétique augmente du fait d'une activité physique ou lorsque nous sommes exposés

⁽¹⁾ CNRS/INRS, Laboratoire de physiologie et de psychologie environnementales (LPPE), 21, rue Becquerel, 67087 Strasbourg cedex

à la chaleur (ou les deux), la production de chaleur interne et/ou celle reçue de l'environnement se situent à des niveaux plus élevés ; l'équilibre thermique est alors rompu, les températures interne, musculaire et cutanée augmentent, ce qui provoque la mise en marche d'un mécanisme thermorégulateur indispensable, la sudation. En effet, c'est l'évaporation de la sueur à la surface cutanée qui va permettre le refroidissement du corps requis par le maintien de l'équilibre entre les gains et les pertes caloriques. L'évaporation de 100 g de sueur par heure va éviter à l'homme standard de 70 kg une augmentation de 1°C de sa température centrale ! En contrepartie, des débits de sueur même faibles, de 100 à 200 g/h par exemple, conduiront, au cours d'un poste de travail de 8 h, à des pertes d'eau dépassant facilement un litre.

Lorsque la température et l'humidité ambiantes sont élevées, la sueur secrétée ne pourra pas s'évaporer en totalité : une partie ruissellera au sol et ne participera pas au refroidissement corporel (Candas et al., 1983). Dès lors, le maintien de l'équilibre thermique de l'organisme implique une « sursudation » qui se traduit par une perte de liquide supplémentaire. Dans ce cas, un à plusieurs litres de sueur viendront s'ajouter aux 3 litres de liquide mentionnés auparavant. L'ensemble du besoin journalier de liquide peut, dans des conditions hygrométriques non favorables, atteindre 5 litres, soit 7% de la masse d'un individu standard. Cette quantité est considérable, sans toutefois constituer un cas extrême.

L'eau évacuée dans l'environnement provient des liquides intracellulaire, interstitiel et plasmatique. Le volume plasmatique peut diminuer de plus de 2% pour 1% de perte de masse du sujet (Costill et al., 1976). Une perte de 7% de la masse corporelle résulterait en une diminution du volume plasmatique de l'ordre de 10%, ce qui serait très dangereux pour l'organisme. Du fait de l'effort physique, la redistribution des flux sanguins vers la surface corporelle et vers les muscles au travail, au détriment de la circulation générale, engendre lors de la déshydratation une chute de la pression artérielle. La diminution de la pression veineuse associée à la réduction du volume sanguin circulant provoque un mauvais remplissage cardiaque. Le débit cardiaque ne peut alors être maintenu au niveau requis qu'au prix d'une augmentation de fréquence cardiaque, coûteuse pour l'organisme. La position verticale du travailleur aggrave la situation car elle diminue les possibilités d'irrigation du

système nerveux supérieur où se trouvent, outre les principaux centres régulateurs des grandes fonctions physiologiques, les structures nerveuses qui sous-tendent les capacités attentionnelles, cognitives et psychomotrices.

Du fait des pertes sudorales au travail, l'homme perd également des quantités non négligeables de sels : sodium, chlore, potassium.

La concentration dans le plasma sanguin des sels minéraux, du glucose, des protéines, etc., est appelée osmolarité. Ses variations sont dangereuses pour l'organisme. L'osmolarité diminue lorsqu'il y a diminution des composants plasmatiques. A l'inverse, l'osmolarité augmente généralement, non pas en raison de l'augmentation dans le sang de la quantité des composants du plasma, mais parce que la quantité d'eau quittant le lit vasculaire est supérieure à la quantité d'ions perdus.

C'est le cas de la déshydratation, qui induit une osmoconcentration par hémococoncentration. Celle-ci est néfaste pour 2 raisons :

- la viscosité accrue du sang circulant entraîne une augmentation du travail cardiaque requis (Nielsen, 1984) ;
- l'osmoconcentration a des effets négatifs sur la régulation thermique (Harrison et al., 1978).

En effet, la déshydratation crée un conflit entre thermorégulation et économie d'eau ; il en résulte une perturbation progressive des mécanismes thermorégulateurs (Ekblom et al., 1970). Les pertes importantes de liquides corporels (Fortney et al., 1981) et/ou l'augmentation de l'osmolarité et de la concentration du Na⁺ dans ces liquides peuvent être à l'origine d'une diminution du débit sudoral (Nielsen, 1984) et d'une diminution du flux sanguin cutané (Fortney et al., 1984). Les transports internes et externes de chaleur sont perturbés, l'organisme accumule de la chaleur, sa température interne s'élève et la performance physique peut en être amoindrie (Armstrong et al., 1985a). De plus, en cas d'activité physique, l'organisme va puiser son énergie dans le glucose sanguin (or, son maintien est indispensable au bon fonctionnement du système nerveux), dans le glycogène hépatique et dans le glycogène musculaire. Les déplétions en glycogène peuvent devenir limitantes pour la performance physique, par exemple lors du travail prolongé sans apport énergétique.

Il est indispensable de porter une attention toute particulière à la réhydratation

de sujets exposés à des conditions de perte hydrique notable (Lamb et Brodowicz, 1986). En effet, les recherches ont montré que si la réhydratation effectuée volontairement par le sujet est quasi totale en cas de déperdition légère, elle n'est égale qu'à la moitié des pertes lorsque celles-ci sont importantes.

Pour éviter au maximum les perturbations physiologiques liées au travail, avec ou sans chaleur, et les conséquences associées à la déshydratation, il est essentiel qu'une hydratation suffisante soit assurée ; il faut pour cela :

- 1) remplacer le plus rapidement possible les liquides corporels perdus afin de maintenir un débit sudoral évitant toute dérive excessive de température tout en maintenant le volume sanguin et la fréquence cardiaque à des niveaux physiologiques adéquats ;
- 2) apporter au sang, sous forme de glucides, une partie de l'énergie dépensée par le travail musculaire ;
- 3) apporter les éléments minéraux requis par l'organisme pour maintenir l'osmolarité plasmatique.

Il s'agit donc de ne pas boire n'importe quoi : nous avons besoin d'eau, de sels minéraux, de substrats énergétiques et éventuellement de certaines vitamines. Le problème principal réside dans la vitesse de remplacement des liquides perdus, ce qui va dépendre en grande partie de la composition du liquide ingéré. En effet, la vidange gastrique et l'absorption intestinale dépendent de nombreux facteurs liés d'une part à l'intensité de l'effort (Fordtran et Saltin, 1967 ; Costill et Saltin, 1974), d'autre part à la boisson ingérée :

- sa température (Costill et Saltin, 1974) ;
- son osmolarité (Hunt et Pathak, 1960 ; Costill et Saltin, 1974) ;
- sa concentration en glucides, avec leurs propriétés osmotique (Costill et Saltin, 1974 ; Hunt et Pathak, 1960) et énergétique (Brenner et al., 1983) ;
- le volume de boisson ingéré en fonction du temps (Costill et Saltin, 1974) ;
- sa concentration en sels (Na⁺, Cl⁻, K⁺) (Hunt et Pathak, 1960 ; Costill et Sparks, 1973 ; Greenleaf et Brock, 1980) ;
- la nature des glucides, simples ou complexes (Owen et al., 1986) ;
- son pH (Powell, 1987).

La réhydratation corporelle obtenue au moyen de liquides administrés par voie orale est le résultat de processus com-

plexes. Les recherches actuelles s'orientent vers la formulation de liquides en mesure d'assurer la meilleure réhydratation possible au cours de l'effort accompagné de pertes sudorales notables.

Les résultats des travaux scientifiques permettent dès à présent d'émettre certaines recommandations. C'est ainsi qu'on connaît bien les méfaits des boissons contenant de l'alcool (Trémolières, 1974). L'augmentation de l'alcoolémie diminue les possibilités de travail et d'éveil attentifs ; elle peut entraîner des perturbations mentales graves et réduire les capacités psychomotrices. L'alcool favorise l'élimination d'eau urinaire et accélère de ce fait les processus de déshydratation ; l'ingestion de bière a le même effet diurétique, qui s'accompagne d'une perte en sodium et potassium (Buday et Denis, 1974). En général, l'alcool diminue le taux de certaines hormones ; il peut également entraîner une hypoglycémie (baisse de sucre dans le sang, dont l'organisme a constamment besoin). Les boissons contenant de la caféine sont également diurétiques, excitent le cœur et peuvent provoquer un niveau d'éveil excessif, voire l'insomnie. De nombreuses infusions ou décoctions sont également diurétiques ou laxatives : elles peuvent néanmoins être recommandées lors du travail en condition froide. Les sodas, boissons sucrées, jus de fruits retardent l'absorption intestinale et sont donc moins efficaces pour la réhydratation ; en outre, ils augmentent de façon passagère le taux de glucose sanguin, provoquant souvent une chute ultérieure anormale de ce taux en réponse à l'augmentation induite du taux d'insuline (c'est l'hypoglycémie réactionnelle). De plus, les risques de carie dentaire et d'obésité sont augmentés avec l'ingestion excessive de sucre.

Si, dans la vie quotidienne, toutes les boissons citées ci-dessus peuvent être consommées dans le cadre d'une alimentation équilibrée, elles ne peuvent néanmoins pas être considérées comme le support d'une bonne réhydratation par voie orale. Mais alors, que boire ? et d'abord quand boire ? et comment ?

QUAND BOIRE ?

Pour éviter les conséquences de la déshydratation, on a proposé de faire boire au préalable, pour bénéficier d'un stockage initial suffisant d'eau corporelle (surhydratation préventive). L'ingestion additionnelle de sels a de

plus été préconisée pour diminuer l'élimination de l'eau (MacFarlane, 1981).

En fait, l'hyperhydratation initiale est difficile à obtenir ; l'organisme, grâce à de puissants mécanismes de régulation, éliminera par voie urinaire le sel et l'eau en excès. Néanmoins, boire avant une exposition au travail ou à la chaleur n'est pas inutile : un déficit hydrique initial ou « hypohydratation » peut ainsi être évité. L'hypohydratation initiale accentue les perturbations physiologiques associées à la déshydratation (Greenleaf et Castle, 1971) et s'ajoute à l'insuffisance de la réhydratation en cours d'effort. Il convient par conséquent de pratiquer une surveillance toute particulière du niveau d'hydratation quotidien du sujet. Toutefois, dans les cas où les prises de boisson sont possibles pendant l'effort, il devient inutile de pratiquer une surcharge hydrique préalable ; en effet, l'hyperhydratation préalable par voie orale, immédiatement suivie de réhydratation dès le début de l'activité physique, n'apporte pas d'avantage décisif sur l'ensemble des ajustements physiologiques (Sawka et al., 1984).

COMMENT BOIRE ?

La réhydratation au cours du travail sera plus efficace dans les cas où un léger déficit se sera installé quelque temps après le début de l'exposition à l'effort ou à la chaleur des activités. (Candas et al., 1988). Les résultats d'expériences faites en laboratoire ont montré que si l'ingestion de liquide se faisait tout de suite après le début du travail, les effets néfastes de la déshydratation, et essentiellement la chute de volume plasmatique, étaient moins bien compensés que si l'ingestion se faisait après une heure de travail sans prise de boisson (Candas et al., 1986). La raison en est que l'équilibre hydro-minéral est assuré par diverses hormones (système aldostérone-rénine-angiotensine, hormone anti-diurétique (Meyer, 1983) et, grâce à la perturbation initialisée par l'absence de remplacement des liquides corporels perdus, la sécrétion de ces hormones se fera à des niveaux supérieurs à la normale, ce qui augmentera l'efficacité de leurs effets régulateurs et favorisera aussi la réhydratation (Brandenberger et al., 1986).

De toute évidence, il faut boire ensuite au plus tard une demi-heure à une heure après le début de l'exposition. En cas d'hydratation normale au départ, de tels délais n'impliquent aucun risque.

Il est conseillé de boire frais (entre 10 et 20° C) puisque la boisson ingérée participera au moins pour partie au refroidissement corporel (Snellen et Mitchell, 1972). Il ne faut pas boire glacé, car les afférences en provenance des récepteurs thermiques profonds (viscéraux) pourraient, par leur importance, exercer une influence négative sur le système thermorégulateur qui agirait alors comme si l'organisme n'avait plus besoin d'éliminer de la chaleur : il diminuerait, voire arrêterait, la sudation. Il s'ensuivrait un accroissement indésirable de la température corporelle.

Une autre raison commande de boire frais : l'ingestion d'une boisson fraîche par un organisme chaud sera perçue comme agréablement rafraîchissante. C'est un facteur qui peut influencer favorablement la consommation volontaire de boisson (Armstrong et al., 1985b) et par conséquent le remplacement des liquides corporels lorsque la boisson ingérée est adéquate.

Enfin, il faut boire de façon répétée, en fractionnant la quantité totale ; par exemple entre 50 et 200 ml, selon les cas tous les quarts d'heure ; la réhydratation sera ainsi continue et efficace, associée au bien-être subjectif, en l'absence de sensation de réplétion gastrique. La réhydratation continue donne également la possibilité à l'organisme de rééquilibrer les différents compartiments liquidiens, vasculaires, interstitiel et intracellulaire.

QUE BOIRE ?

Les effets de l'ingestion d'eau répondent bien aux besoins thermorégulateurs ; ils peuvent être facilitateurs (Candas et al., 1986 ; Libert et al., 1988) pourtant Noakes et al. (1985) ont décrit plusieurs cas cliniques de personnes ayant présenté une chute de sodium et de chlore plasmatiques importante, consécutive à une surconsommation d'eau ou de boissons hypotoniques à faible teneur en sodium, pendant l'effort. En effet, avant d'être absorbée, l'eau (hypotonique) provoque une fuite des ions sodium du plasma, qui migrent vers les cellules intestinales. Ce mouvement d'ions est nécessaire pour l'absorption ultérieure de l'eau, qui ne peut se faire qu'en association avec le sodium. De telles osmodilutions ont provoqué des troubles neurologiques chez les sportifs, voire engendré le coma. Bader (1986) précise que l'hyponatémie aiguë est surtout observée lors de la cessation de l'activité physique, lorsque la fonction digestive

reprend son cours normal et que l'eau ingérée en excès est rapidement absorbée. En outre, l'eau n'apporte aucun substrat énergétique et la chute de la glycémie à l'effort ne peut être compensée efficacement. Coyle et al. (1983) ont montré que l'ingestion de glucides prévient l'hypoglycémie et retarde la fatigue, améliorant aussi l'endurance physique. L'apport de glucides exogènes épargne également les réserves glycogéniques endogènes (Pallikarakis et al., 1986 ; Flynn et al., 1987). Outre les incidences physiologiques de la réhydratation par ingestion d'eau, les sujets ont trouvé que l'eau était « fade » (« à la longue ») ; une sensation de saturation est parfois ressentie au cours de longues phases de réhydratation.

Les eaux « plates » ne contiennent généralement pas beaucoup d'électrolytes et leur ingestion provoque la baisse du sodium plasmatique destinée à équilibrer les pressions osmotiques des liquides de part et d'autre des cellules de la lumière intestinale. Les eaux « gazeuses » contiennent plus d'électrolytes mais sont assimilées moins rapidement et peuvent provoquer le ballonnement intestinal. Elles peuvent être néanmoins recommandées après l'activité physique : en effet elles aident au rétablissement de l'équilibre acido-basique, grâce à la présence des ions bicarbonates.

Il n'existe pas de boisson « miracle » qui, dès son ingestion, permettrait de maintenir tous les paramètres physiologiques constants ou compenserait immédiatement toutes les variations que ces paramètres subissent lors du travail prolongé, avec ou sans chaleur. Cependant, les résultats de nos travaux montrent que les perturbations sont minimales avec les boissons isotoniques acides, surtout si l'on tient compte du fait que, même ingérées à un taux relativement faible (voisin de 700 ml à l'heure), la réhydratation est efficace. Ces boissons contiennent, outre de l'eau, des sels et des glucides de manière à optimiser le maintien des variables plasmatiques. La nature des glucides contenus dans ces boissons a été soigneusement étudiée afin d'apporter des sucres lents et rapides, en proportion judicieuse, permettant au liquide ingéré de présenter une osmolarité proche de celle du plasma sanguin : ces liquides sont dits isotoniques.

De telles boissons sont disponibles dans le commerce, plus spécifiquement pour les sportifs : ce sont les « boissons réhydratantes de l'effort » et « d'apport glucidique ». Deux d'entre elles, ISOSTAR® (Wander SA) et

REASPORT® (Les vergers d'Alsace, REA) ont été testées au LPPE de Strasbourg sur des sujets sains exposés à la chaleur et soumis à l'effort prolongé.

Ingérées dans nos conditions expérimentales en quantité destinée à ne couvrir que trois quarts des pertes hydriques totales, les boissons isotoniques acides,* comparativement à d'autres liquides, permettent de maintenir plus efficacement l'homéostasie, c'est-à-dire la stabilité des paramètres physiologiques que sont la réactivité sudorale, les températures corporelles, la fréquence cardiaque, la volémie et l'osmolarité plasmatiques, la glycémie et le taux des hormones de l'équilibre hydro-minéral.

EN CONCLUSION

Il est important d'adapter les modalités de réhydratation au type d'activité et aux conditions thermohygrométriques de l'environnement (Candas et al., 1987). Au cours d'interventions longues, avec dépense énergétique non négligeable, il est recommandé de se préhydrater à l'aide d'une boisson adéquate, 30 min avant le début des interventions, d'une quantité comprise entre 10 à 20% de la perte massique escomptée, de manière à assurer une bonne hydratation initiale. Après une heure de travail (au maximum), il conviendra de boire à intervalles réguliers, répartis sur une ou deux heures selon le type d'activité, une quantité égale à 50 ou 60% de la perte hydrique attendue, afin de compenser le début du déficit et d'augmenter (éventuellement) les réserves extracellulaires. La fin de l'effort peut ensuite être effectuée avec ou sans prise de boisson. La température du liquide ingéré sera de l'ordre de 10 à 15° C, pour en favoriser l'absorption (Costill et Saltin, 1974). La durée du travail continu dans des conditions sévères ne devrait pas dépasser trois à quatre heures. Elle devrait être suivie d'une phase de récupération au cours de laquelle les prises alimentaires participeront au rétablissement de l'équilibre physiologique.

S'il faut gagner son pain à la sueur de son front, il faut donner à l'organisme la possibilité de perdre de l'eau sans nuire à l'intégrité de ses fonctions vitales : c'est possible, grâce à un niveau correct d'hydratation quotidienne et à une réhydratation judicieuse, associée à une alimentation équilibrée, de manière à pouvoir puiser les substrats dont chacun a besoin journalièrement.

Bibliographie

- AMSTRONG L.E., COSTILL D.L., FINK W. J. - Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1985a, 17, pp. 456-461.
- ARMSTRONG L.E., HUBBARD R.W., SZLYK P.C., MATTHEW W.T., SILS I.V. - Voluntary dehydration and electrolyte losses during exercise in the heat. *Aviat. Space Environ. Med.*, 1985b, 56, pp. 765-770.
- BADER J.M. - Les noyés de la terre ferme. *Sci. Vie*, 1986, 824, pp. 52-55.
- BRANDENBERGER G., CANDAS V., FOLLENIUS M., LIBERT J.P., KAHN J.M. - Vascular fluid shifts and endocrine responses to exercise in the heat : effect of rehydration. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1986, 55, pp. 123-129.
- BRENER W., HENDRIX T.R., MC HUGH P.R. - Regulation of the gastric emptying of glucose. *Gastroenterology*, 1983, 85, pp. 76-82.
- BUDAY A.Z., DENIS G. - The diuretic effect of beer. *The Brewers' digest*, 1974, 6, pp. 56-58.
- CANDAS V., LIBERT J.P., VOGT J.J. - Sweating and sweat decline of resting men in hot humid environments. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1983, 50, pp. 223-234.
- CANDAS V., LIBERT J.P., BRANDENBERGER G., SAGOT J.C., AMOROS C., KAHN J.M. - Hydration during exercise : effects on thermal and cardiovascular adjustments. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1986, 55, pp. 113-122.
- CANDAS V., SAGOT J.C., KAHN J.M. - L'hydratation et ses effets sur les réponses physiologiques à l'exercice musculaire prolongé. *Sci. Sports*, 1987, 2, pp. 211-219.
- CANDAS V., LIBERT J.P., BRANDENBERGER G., SAGOT J.C., KAHN J.M. - Thermal and circulatory responses during prolonged exercise at different levels of hydration. *J. Physiol. (Paris)*, 1988, 83, pp. 11-18.
- COSTILL D.L., COTE R., FINK W.J. - Muscle water and electrolytes following varied levels of dehydration. *J. Appl. Physiol.*, 1976, 40, pp. 6-11.
- COSTILL D.L., SALTIN B. - Factors limiting gastric emptying during rest and exercise. *J. Appl. Physiol.*, 1974, 37, pp. 679-683.
- COSTILL D.L., SPARKS K.E. - Rapid fluid replacement following thermal dehydration. *J. Appl. Physiol.*, 1973, 34, pp. 299-303.
- COYLE E.F., HAGBERG J.M., HURLEY B.F., MARTIN W.H., EHSANI A.A., HOLLOSZY J.O. - Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. *J. Appl. Physiol.*, 1983, 55, pp. 230-235.

- EKBLOM B., GREENLEAF C.J., HERMANSEN L. - Temperature regulation during exercise dehydration in man. *Acta Physiol. Scand.*, 1970, 79, pp. 475-483.
- FLYNN M.G., COSTILL D.L., HAWLEY J.A., FINK W.J., NEUFER P.D., FIELDING R.A., SLEEPER M.D. - Influence of selected carbohydrate drinks on cycling performance and glycogen use. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1987, 19, pp 37-40.
- FORDTRAN J.S., SALTIN B. - Gastric emptying and intestinal absorption during prolonged severe exercise. *J. Appl. Physiol.*, 1967, 23, pp. 331-335.
- FORTNEY S.M., NADEL E.R., WENGER C.B., BOVE J.R. - Effect of blood volume on sweating rate and body fluids in exercising humans. *J. Appl. Physiol. : Respir. Environ. Exerc. Physiol.*, 1981, 51, pp. 1594-1600.
- FORTNEY S.M., WENGER C.B., BOVE J.R., NADEL E.R. - Effect of hyperosmolarity on control of blood flow and sweating. *J. Appl. Physiol. : Respir. Environ. Exerc. Physiol.*, 1984, 57, pp. 1688-1695.
- GREENLEAF J.E., CASTLE B.L. - Exercise temperature regulation in man during hypohydration and hyperhydration. *J. Appl. Physiol.*, 1971, 30, pp. 847-853.
- GREENLEAF J.E., BROCK P.J. - Na⁺ and Ca²⁺ ingestion : plasma volume-electrolyte distribution at rest and exercise. *J. Appl. Physiol.*, 1980, 48, pp. 838-847.
- HARRISON M.H., EDWARDS R.J., FENNESSY P.A. - Intravascular volume and tonicity as factors in the regulation of body temperature. *J. Appl. Physiol. : Respir. Environ. Exerc. Physiol.*, 1978, 44, pp. 69-75.
- HUNT J.N., PATHAK J.D. - The osmotic effects of some simple molecules and ions on gastric emptying. *J. Physiol. (Londres)*, 1960, 154, pp. 254-269.
- LAMB D.R., BRODOWICZ G.R. - Optimal use of fluids of varying formulations to minimise exercise-induced disturbances in homeostasis. *Sports Med.*, 1986, 3, pp. 247-274.
- LIBERT J.P., CANDAS V., AMOROS C., SAGOT J.C., KAHN J.M. - Local sweating responses of different body areas in dehydration-rehydration experiments. *J. Physiol. (Paris)*, 1988, 83, pp. 19-25.
- MCFARLANE - Vie et travail dans les climats chauds. In : SCHERRER J. (éd.) - Précis de physiologie du travail, chap. 8. Paris, Masson, 1981, pp. 265-289.
- MEYER P. - Physiologie humaine. Paris, Flammarion Médecine-sciences, 1983.
- NIELSEN B. - The effect of dehydration on circulation and temperature regulation during exercise. *J. Therm. Biol.*, 1984, 9, pp. 107-112.
- NOAKES T.D., GOODWIN W., RAYNER B.L., BRANKEN T., TAYLOR R.K.N. - Water intoxication : a possible complication during endurance exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1985, 17, pp. 370-375.
- OWEN M.O., KREGEL K.C., WALL P.T., GISOLFI C.V. - Effects of ingesting carbohydrate beverages during exercise in the heat. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1986, 18, pp. 568-575.
- PALLIKARAKIS N., JANDRAIN B., PIRNAY F., MOSORA F., LACROIX M., LUYCKX A.S., LEFEBRE P.J. - Remarkable metabolic availability of oral glucose during long-duration exercise in humans. *J. Appl. Physiol.*, 1986, 60, pp. 1035-1042.
- POWELL D.W. - Intestinal water and electrolyte transport. In : JOHNSON L.R. (éd.) - Physiology of the gastrointestinal tract, vol. 2. New York, Raven Press, 1987, pp. 1267-1305.
- SAWKA M.N., FRANCESCO R.P., YOUNG A.J., PANDOLF K.B. - Influence of hydration level and body fluids on exercise performance in the heat. *J. Am. Med. Assoc.*, 1984, 252, pp. 1165-1169.
- SNELLEN J.W., MITCHELL D. - Calorimetric analysis of the effect of drinking saline solution in whole-body sweating. II. Response to different volumes, salinities and temperature. *Pflügers Arch.*, 1972, 331, pp. 134-144.
- TREMOLIERES J. - Comment évaluer le risque et la sécurité d'une substance alimentaire. Un exemple : l'alcool. *Ann. Nutr. Alim.*, 1974, 28, pp. 317-334. ■

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ
30, rue Olivier-Noyer, 75680 Paris cedex 14

Tiré à part des Cahiers de notes documentaires, 2^e trimestre 1989, n° 130 – ND 1727 – N° CPPAP 804 AD/PC/DC du 14-03-85
Directeur de la publication : D. MOYEN
ISSN 0007-9952 – ISBN 2-85599-972-3
