

Alimentation et activité physique

- **Les bénéfices de l'activité physique sur la santé : le point de vue du nutritionniste**

Jean-Michel Oppert, Hôtel-Dieu, Service de nutrition, 1 place du Parvis Notre-Dame, 75004 Paris.

- **L'alimentation du sportif**

Gilbert Pérès, CHU Pitié-Salpêtrière, Laboratoire de physiologie et médecine du sport, 83 boulevard de l'Hôpital, 75013 Paris.

Résumé

Les bénéfices de l'activité physique sur la santé

En association avec l'alimentation, l'activité physique est reconnue comme un déterminant important de l'état de santé. La recommandation actuelle est que tous les adultes devraient "cumuler" au moins 30 minutes d'activité physique d'intensité modérée, telle que la marche à un bon pas, chaque jour de la semaine.

L'alimentation du sportif

Pour les uns, l'alimentation de la majorité des sportifs devrait être identique à celle de la population générale, en respectant les ANC, complétée cependant par des apports hydriques suffisants. Pour les autres, il s'agit de proposer aux sportifs une alimentation à partir de produits spécifiquement élaborés pour eux.

Abstract

The benefits of physical activity on health

In association with food habits, physical activity is recognized as an important health determinant. Current recommendations are that all adults should "accumulate" at least 30 minutes of moderate-intensity physical activity, such as brisk walking, all days of the week.

The sportspeople's diet

For some, the diet of the majority of sportspeople should be the same as that of the population at large, respecting the ANC, although it is essential to provide them with a sufficient water supply.

For others, sportspeople should be offered a diet based on products specifically developed for them.

Jean-Michel Oppert est professeur de nutrition à l'université Pierre et Marie Curie (UPMC, Paris VI) et praticien hospitalier dans le service de nutrition de l'Hôtel-Dieu (AP-HP).

Gilbert Pérès est chef du service et du laboratoire de physiologie et médecine du sport, CHU Pitié Salpêtrière à Paris, et directeur du diplôme d'université de nutrition du sportif.

Conférence du 21 avril 2005

La Lettre Scientifique de l'IFN engage la seule responsabilité de ses auteurs.

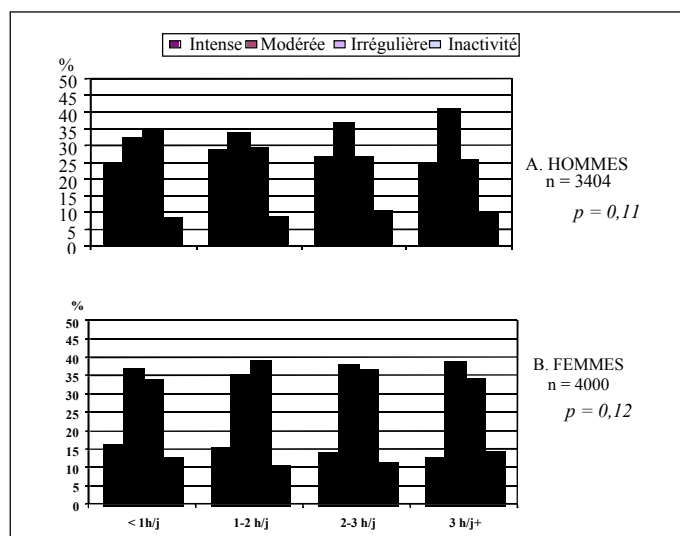
Définitions : distinguer activité et sédentarité

L'activité physique est habituellement définie comme "tout mouvement corporel produit par la contraction des muscles squelettiques entraînant une augmentation substantielle de la dépense d'énergie par rapport à la dépense de repos d'un individu" (USDHHS, 1996 ; Kesaniemi et coll., 2001). Il est important de noter que la notion d'activité physique définie de cette façon recouvre un domaine plus large que celui de la seule pratique sportive. En fonction du contexte dans lequel l'activité physique est réalisée, on peut identifier au moins deux situations principales :

- 1) l'activité physique lors des activités professionnelles et de la vie courante (par ex. transport),
- 2) l'activité physique lors des activités de loisirs (de type sportif ou non). C'est la classification souvent utilisée en épidémiologie. En physiologie, il est habituel de distinguer les effets de l'exercice en "aigu" de ceux induits par l'entraînement. L'entraînement physique est défini comme "une activité physique planifiée, structurée, répétée et dont le but est d'améliorer ou de maintenir les capacités physiques d'un individu" (USDHHS, 1996). Les principales caractéristiques d'une activité physique donnée sont l'intensité, la durée et la fréquence. Ces caractéristiques permettent de définir une "dose" d'activité physique pouvant apporter un bénéfice en termes de santé. L'intensité représente, en valeur absolue ou relative, l'effort demandé par la réalisation d'une activité donnée, en pratique son coût énergétique. La dépense énergétique produite par la réalisation d'une activité donnée correspond au produit de l'intensité par la durée de cette activité. La condition physique (*physical fitness*), le plus souvent évaluée par la puissance aérobie maximale (ou VO_{2max} , témoin des capacités respiratoires), décrit les limites des activités physiques pouvant être réalisées. L'intensité d'une activité est souvent estimée en proportion relative de la VO_{2max} .

Les notions d'inactivité physique et de sédentarité sont moins bien définies. L'inactivité physique est souvent évaluée par l'absence d'activité physique au cours des loisirs. Cependant, le comportement sédentaire ne représente pas seulement une activité physique faible ou nulle, mais correspond à des occupations spécifiques dont la dépense énergétique est proche de valeur de repos (Dietz, 1996). Le temps passé devant un écran (télévision, vidéo, jeux vidéo, ordinateur...) est actuellement l'indicateur de sédentarité le plus utilisé. Il est maintenant reconnu que l'activité physique et la sédentarité sont deux dimensions différentes du comportement de mouvement, associées indépendamment l'une de l'autre à l'état de santé (Bertrais et coll., 2005). Ainsi, par exemple, une évaluation transversale de près de 7 500 adultes participant à l'étude SU.VI.MAX a montré l'absence de relation entre catégories croissantes d'activité physique de loisirs (de "inactivité" à "activité d'intensité élevée sur une base régulière") et temps passé à regarder la télévision (Bertrais et coll., 2004 ; [Figure 1](#)). Cette notion a des

implications en terme d'actions de prévention, soulignant le caractère complémentaire de la promotion de l'activité physique et de la réduction de la sédentarité.



D'après Bertrais et coll., 2004.

Figure 1 : Distribution des catégories d'activité physique de loisirs en fonction du temps passé devant la télévision chez les sujets de l'étude SU.VI.MAX

Evolution de l'activité physique au cours du temps : la rançon du progrès ?

Au cours de cinquante dernières années, parallèlement au progrès technologique et à l'urbanisation, le mode de vie dans nos sociétés industrialisées s'est profondément transformé. Pour une majorité d'entre nous, les occupations professionnelles, domestiques et les transports impliquent peu de dépense physique. Si les activités de loisir ont également connu un développement important, il apparaît que l'augmentation de la dépense d'énergie dans ces situations ne permet pas toujours de compenser la diminution liée aux occupations professionnelles et domestiques. De plus, il persiste dans les pays industrialisés une relation inverse entre la participation ou la durée d'activité physique de loisir et le niveau socio-économique (ou la catégorie socio-professionnelle) (Bertrais et coll., 2004). Aux Etats-Unis, différentes données récentes indiquent que la proportion de sujets ne pratiquant aucune activité physique de loisir est de l'ordre de 30 % dans la tranche d'âge 18-24 ans, et d'environ 70 % chez les sujets de plus de 75 ans (Manson et coll., 2004). La prévalence de l'inactivité physique semble moindre dans les pays européens. Dans une enquête portant sur des échantillons représentatifs de 1 000 sujets âgés de plus de 15 ans dans chacun 15 pays membres de l'Union Européenne, près de trois quart des sujets participait à des activités physiques de loisir (Vaz de Almeida et coll., 1999). En France, il y a peu de données dans ce domaine (HCSPF, 2000). D'après les résultats du Baromètre Santé Nutrition 2002 (www.inpes.sante.fr), 65,7 % des sujets de 12 à 75 ans interrogés rapportaient avoir pratiqué au moins 30 minutes d'activité physique (marche ou sport) la veille de l'entretien, 17 % d'entre eux n'avaient pratiqué aucune activité.

Activité physique et grands problèmes de santé : quelle "dose" pour quelle réponse ?

L'importance de l'activité physique comme facteur positif de santé n'est pas une idée neuve. Les études de Morris dans les années 1950, portant sur l'activité physique au travail de différentes catégories d'employés londoniens en relation avec le risque cardiovasculaire, ont ouvert la voie à l'approche scientifique de cette thématique (Morris, 1953). Comme l'ont souligné différentes réunions de consensus récentes (USDHHS 1996 ; Pate et coll., 1995 ; Kesaniemi et coll., 2001 ; WHO, 2003), il est maintenant reconnu qu'une activité physique régulière est associée à une réduction de la mortalité totale, de la morbi-mortalité cardiovasculaire en général et coronarienne en particulier, du risque de diabète de type 2, de cancer du côlon et d'ostéoporose. L'activité physique participe de plus au contrôle du poids et peut aider au maintien de l'autonomie chez la personne âgée. Elle peut améliorer l'humeur (anxiété, dépression). Dans le domaine cardiovasculaire, il faut souligner que la réduction de morbidité coronarienne qui peut être attendue de la pratique d'une activité physique régulière est comparable à celle d'autres habitudes de vie, tel l'arrêt du tabac, ou d'autres facteurs de risque, telle l'hypercholestérolémie. Dans de nombreuses situations, c'est en association avec des habitudes alimentaires inadéquates que l'inactivité physique est un facteur de risque de pathologie chronique (HCSPF, 2000 ; WHO, 2003). Aux Etats-Unis, une analyse récente des facteurs comportementaux associés à la mortalité indique que la combinaison d'une alimentation inadaptée avec l'inactivité physique représente 17 % des décès (en 2000), soit la deuxième cause de mortalité après le tabagisme (Mokdad et coll., 2004).

Les données disponibles indiquent qu'il existe une relation dose-réponse inverse entre le volume d'activité physique habituelle et le risque de mortalité totale, de mortalité et morbidité cardiovasculaire en général, et d'événements coronariens en particulier (USDHHS, 1996 ; Kohl et coll., 2001). Cette relation est linéaire quand la réponse est exprimée en termes de risque relatif. Les caractéristiques de la "dose" minimale d'activité physique qui serait protectrice sont encore discutées. Ce sont toutefois les résultats des études réalisées dans le domaine de la pathologie cardiovasculaire qui ont amené à la définition des recommandations actuelles d'activité physique pour la population générale (Pate et coll., 1995 ; USDHHS, 1996 ; HCSPF, 2000).

Quelques études récentes suggèrent que l'activité n'a pas besoin d'être d'intensité élevée pour avoir des effets bénéfiques. Dans l'étude franco-irlandaise PRIME, portant sur 9 758 hommes âgés de 50 à 59 ans suivis pendant 5 ans, une augmentation de l'activité physique quotidienne correspondant à 30 minutes de marche rapide était associée à une diminution de 11 % du risque relatif d'événements coronariens chez les individus ne pratiquant pas d'activité d'intensité élevée (n=6730) (Wagner et coll., 2002). La quantité d'énergie dépensée et la régularité pourraient être plus importantes que l'intensité de l'activité pratiquée. Dans l'étude des infirmières américaines, portant sur 72 488 femmes âgées de 40 à 65 ans suivies en moyenne pendant 8 ans, la pratique de 3 heures de marche ou plus par

semaine était associée à une diminution du risque d'événements coronariens (RR = 0,65 par rapport aux femmes qui marchent peu souvent) comparable à celle obtenue avec la pratique régulière d'exercices physiques d'intensité plus élevée correspondant à la même dépense d'énergie (Manson et coll., 1999). Différentes questions ou limitations sont soulignées dans ce domaine (Kohl, 2001). La diminution du risque cardiovasculaire est-elle liée à l'activité physique habituelle (dimension comportementale) ou à la condition (capacité) physique (dimension physiologique) ? La plupart des études ont en effet étudié l'activité physique habituelle. Par ailleurs, il y a encore peu de données publiées sur les relations entre changements d'activité physique au cours du temps et risque cardiovasculaire. Il faut noter également que la majorité des résultats disponibles concernent les hommes. Enfin, il n'existe pas d'essai randomisé évaluant l'effet d'une augmentation de l'activité (ou de la condition) physique sur le développement des pathologies cardiovasculaires.

Recommandations d'activité physique pour la population générale

Plusieurs types de recommandations concernant l'activité physique et destinées à la population générale ont été diffusées au cours des dernières années (Tableau 1). L'évolution des concepts dans ce domaine est importante à considérer. Les recommandations élaborées à la fin des années 80, basées sur un modèle du type "entraînement physique – condition physique", avaient pour objectif principal d'augmenter la capacité cardio-respiratoire (VO_{2max}). Le type d'activité préconisée dans ce cas était d'intensité relativement élevée. Les recommandations plus récentes, et plus pragmatiques, correspondent à un modèle du type "activité physique – état de santé" et visent la promotion d'une "dose" minimum d'activité physique pour diminuer le risque de pathologie chronique.

	Recommandations "traditionnelles" Réf. : ACSM (1990)	Recommandations "actuelles" Réfs : Pate et coll. (1995), USDHHS (1996)
Fréquence	3 - 5 jours par semaine	6 - 7 jours par semaine
Intensité	60 - 90 % de la fréquence cardiaque maximale (50 - 85 % de la puissance aérobie maximale, VO_{2max})	Modérée (3 - 6 METS* ou 4 - 7 kcal/min)
Durée	20 - 60 minutes en une fois d'activité d'endurance	≥ 30 minutes/jour en une ou plusieurs fois
Type	Toute activité utilisant les grands groupes musculaires (course, vélo, natation...)	Toute activité pouvant être réalisée d'intensité comparable à la marche rapide

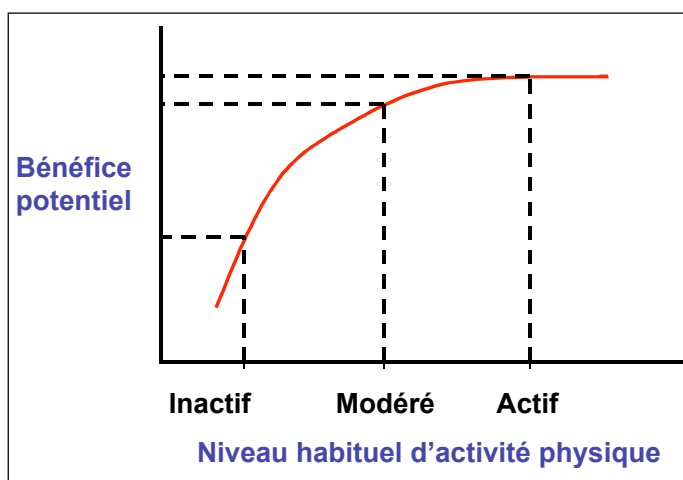
* MET : équivalent métabolique (une valeur de MET correspond au rapport du coût énergétique d'une activité donnée sur la dépense énergétique au repos)

ACSM : American College of Sports Medicine (association nord-américaine de médecine du sport)

USDHHS : US Department of Health and Human Services (Surgeon General Report on Physical Activity and Health : document de synthèse sur l'activité physique et l'état de santé)

Tableau 1 : Evolution des recommandations d'activité physique pour la population générale

Cette évolution des recommandations s'explique d'abord par la reconnaissance du fait qu'un bénéfice substantiel en termes d'état de santé peut être obtenu lors du passage d'un état d'inactivité à un degré au moins modéré d'activité physique (Figure 2 ; Haskell, 1994). Ensuite, un objectif majeur est d'insérer une activité physique minimum dans le quotidien du plus grand nombre et à long terme. Les activités recommandées sont donc non seulement des activités de loisir mais aussi des activités de la vie courante. Enfin, la possibilité de réaliser l'activité physique en plusieurs fois au cours de la journée est d'un intérêt pratique évident et l'augmentation de la compliance dans ce cas a été démontrée (par ex. 3 fois 10 minutes d'activité d'intensité modérée par jour plutôt que 30 minutes en une seule fois). L'effet de ce fractionnement sur le risque pour la santé (en particulier cardiovasculaire) reste à démontrer.



D'après Haskell, 1994.

Figure 2 : Courbe "dose-réponse" entre niveau habituel d'activité physique et bénéfice potentiel pour la santé

Une approche complémentaire de la promotion d'une activité physique régulière porte sur la limitation des occupations sédentaires. Les conseils simples dans ce domaine sont de réduire le temps passé en position assise, de prendre les escaliers à la place des ascenseurs, de descendre une station avant l'arrêt prévu dans les transports etc... Ces mesures peuvent constituer une étape préliminaire quand les possibilités physiques sont réduites (Oppert, 2004a).

L'incitation à l'activité physique dans la population générale n'a de sens que dans le cadre d'une action de promotion et d'éducation à la santé au sens large, incluant les aspects nutritionnels. La limitation de la sédentarité et la promotion d'une activité régulière d'intensité modérée font ainsi partie des 9 objectifs majeurs du Programme National Nutrition Santé (PNNS) mis en place par le Ministère de la Santé en 2001, ainsi que des objectifs de la rubrique Nutrition et Activité physique de la Loi de Santé Publique.

Enjeux et perspectives

Comme l'a écrit M. Gibney (1999), l'inactivité physique représente un obstacle majeur pour le "futur en nutrition", car la définition d'une "nutrition optimum" dépend de cet état devenu commun, l'état sédentaire. Les principaux enjeux dans le domaine des relations entre activité physique et santé, en adoptant le point de vue du nutritionniste, nous paraissent pouvoir être résumés de la façon suivante. En premier lieu, la nécessité d'une recherche intégrative apparaît de plus en plus évidente (Oppert, 2002). La nutrition du sportif mise à part, la recherche en nutrition et celle dans le domaine de l'activité physique, qu'il s'agisse d'approches épidémiologiques, physiologiques ou cliniques, représentent en effet traditionnellement des disciplines bien distinctes. Ces dernières années, différents travaux ont souligné l'intérêt de l'identification de typologies alimentaires. Cette même approche commence à être appliquée au domaine de l'activité physique. Les données publiées sur l'identification de typologies concernant à la fois les habitudes d'activité physique et les apports alimentaires restent toutefois rares. Une meilleure connaissance des effets physiologiques de différents types d'apports en fonction du niveau d'activité physique habituelle est également essentielle.

Un préalable pour mieux comprendre les relations entre activité physique habituelle, apports alimentaires et état de santé est de pouvoir mieux mesurer l'activité et l'inactivité physiques (Oppert, 2004b). En particulier pour pouvoir définir une "dose" d'activité physique permettant d'apporter un bénéfice pour la santé, il est nécessaire de mesurer l'intensité et la durée des activités en question (Kesaniemi et coll., 2001). L'essentiel de nos connaissances dans le domaine des relations entre activité physique et état de santé provient d'études ayant utilisé des questionnaires. Seuls quelques-uns de ces questionnaires ont été traduits ou peuvent être utilisés en français (Vuillemin et coll., 2000). De plus, ces instruments ont une précision limitée en particulier pour évaluer les niveaux faibles d'activité physique. La nécessité de disposer de méthodes d'évaluation de l'activité physique plus objectives que les questionnaires est soulignée, qu'il s'agisse d'instruments très simples comme le podomètre (Kettaneh et coll., 2005) ou plus sophistiqués (plus onéreux également) comme les accéléromètres (Kumahara et coll., 2004).

Dans tous les cas, le plus grand défi reste de définir selon quelles modalités les conseils d'activité physique doivent être délivrés, et par qui, pour obtenir la compliance la plus élevée sur le long terme, qu'il s'agisse de la population générale ou de groupes à risques spécifiques (Kahn et coll., 2002). Dans ce domaine, la prise en compte de facteurs individuels, le degré de motivation par exemple, couplée à des mesures portant sur l'environnement de vie des sujets apparaît comme un des types d'action reconnus comme efficaces (Kahn et coll., 2002). Ces actions devront nécessairement prendre en compte le caractère complexe des comportements d'activité physique et alimentaire, qui s'inscrivent dans un contexte plus large social et politique, et relèvent d'une approche intégrée et multidisciplinaire de la promotion de la santé.

Références

American College of Sports Medicine position stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 1990 ; 22 : 265-274.

Bertrais S, Preziosi P, Mennen L, Galan P, Hercberg S, Oppert JM - Sociodemographic and geographic correlates of meeting current recommendations for physical activity in middle-aged adults (the SU.VI.MAX study). *Am J Public Health* 2004 ; 94 : 1560-1566.

Bertrais S, Beyeme-Ondoua JP, Czernichow S, Galan P, Hercberg S, Oppert JM - Sedentary behaviors, physical activity and metabolic syndrome in middle-aged French adults. *Obes Res* 2005 (sous presse).

Dietz WH - The role of lifestyle in health : the epidemiology and consequences of inactivity. *Proc Nutr Soc* 1996 ; 55 : 829-840.

Gibney MJ, Strain S - Food and nutrition for all. *Lancet* 1999 ; 354 Suppl : SIV38.

Haskell WL - Health consequences of physical activity: understanding and challenges regarding dose-response. *Med Sci Sports Exerc* 1994 ; 26 : 649-660.

Haut Comité de Santé Publique. Pour une politique nutritionnelle de santé publique en France. Enjeux et propositions. Rennes, Editions ENSP, 2000.

Kahn EB, Ramsey LT, Brownson RC, Heath GW, Howze EH, Powell KE, Stone EJ, Rajab MW, Corso P - The effectiveness of interventions to increase physical activity. A systematic review. *Am J Prev Med* 2002 ; 22(4 Suppl) : 73-107.

Kesaniemi YK, Danforth E Jr, Jensen MD, Kopelman PG, Lefebvre P, Reeder BA - Dose-response issues concerning physical activity and health: an evidence-based symposium. *Med Sci Sports Exerc* 2001 ; 33(6 Suppl) : S351-S358.

Kettaneh A, Oppert JM, Heude B, Deschamps V, Borys JM, Lommez A, Ducimetière P, Charles MA - Changes in physical activity explains paradoxical relationship between baseline physical activity and adiposity changes in adolescent girls. The FLVS II Study. *Int J Obesity* 2005 (in press).

Kohl HW - Physical activity and cardiovascular disease: evidence for a dose response. *Med Sci Sports Exerc* 2001 ; 33(6 Suppl) : S472-S483.

Kumahara H, Tanaka H, Terrier P, Ishii K, Oppert JM, Guy-Grand B, Schutz Y - Comparison of two accelerometers for assessing daily energy expenditure in adults. *J Physical Activity Health* 2004 ; 1 : 279-280.

Manson JE, Skerrett PJ, Greenland P, VanItallie TB - The escalating pandemics of obesity and sedentary lifestyle : a call to action for clinicians. *Arch Intern Med* 2004 ; 164 : 249-258.

Manson JE, Hu FB, Rich-Edwards JW, Colditz GA, Stampfer MJ, Willett WC, Speizer FE, Hennekens CH - A prospective study of walking as compared with vigorous exercise in the prevention of coronary heart disease in women. *N Engl J Med* 1999 ; 341 : 650-658.

Mokdad AH, Marks JS, Stroup DF, Gerberding JL - Actual causes of death in the United States, 2000. *JAMA* 2004 ; 291 : 1238-1245.

Morris JN, Heady JA, Raffle PAB, Roberts CG, Parks JW - Coronary heart-disease and physical activity of work. *Lancet* 1953 ; ii: 1053-1057; 1111-1120.

Oppert JM - Activité physique et maladies de la nutrition : les enjeux. *Cahiers de Nutrition et de Diététique* 2002 ; 37 : 231-234.

Oppert JM, Dalarun P - Activité physique et traitement de l'obésité. In : Médecine de l'obésité, A Basdevant, B Guy-Grand, eds, Paris : Flammarion-Médecine-Sciences, 2004a, pp. 222-227.

Oppert JM - Pourquoi et comment évaluer l'activité physique ? *Journ Annu Diabetol Hotel Dieu*. 2004b ; 47-59.

Pate RR, Pratt M, Blair SN, Haskell WL, Macera CA, Buchard C, Buchner D, Ettinger W, Heath GW, King AC et al - Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA* 1995 ; 273 : 402-407.

U.S. Department of Health and Human Services. Physical Activity and Health: A Report of the Surgeon General. Atlanta, GA : U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, 1996.

Vaz de Almeida MD, Graca P, Afonso C, D'Amicis A, Lappalainen R, Damkjaer S - Physical activity levels and body weight in a nationally representative sample in the European Union. *Public Health Nutr* 1999 ; 2 : 105-113.

Vuillemin A, Oppert JM, Guillemin F, Essermeant L, Fontvieille A-M, Galan P, Kriska AM, Hercberg S - Self-administered questionnaire compared with interview to assess past-year physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 2000 ; 32 : 119-124.

Wagner A, Simon C, Evans A, Ferrieres J, Montaye M, Ducimetière P, Arveiler D - Physical activity and coronary event incidence in Northern Ireland and France: the Prospective Epidemiological Study of Myocardial Infarction (PRIME). *Circulation* 2002 ; 105 : 2247-2252.

World Health Organization. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Report of a joint WHO/FAO Expert consultation. WHO Technical Report Series N° 916. WHO, Geneva, 2003.

L'ALIMENTATION DU SPORTIF

Gilbert Pérès

Le débat persiste encore, d'une alimentation spécifique pour le sportif, avec à l'extrême, pour les uns, une alimentation qui devrait être pour la majorité des sportifs celle de la population générale, respectant les apports nutritionnels conseillés et prenant en compte, bien sûr, le niveau d'activité du sportif pour adapter ses apports énergétiques, complétés par des apports hydriques suffisants. Ou bien, il s'agit de proposer aux sportifs une alimentation exclusivement à partir de produits spécifiquement élaborés pour eux. Cela se voit parfois encore pour certaines équipes sportives de très haut niveau de performance.

Un sportif ou une sportive sont d'abord des personnes humaines avec des besoins de croissance, de développement ou de maintien comparables à ces personnes. S'il est démontré que leur pratique physique ou sportive (APS) s'accompagne de dépenses ou de pertes que seule l'alimentation permet de compenser, des apports spécifiques seront alors justifiés.

De fait, très souvent, dans la plupart des documents, l'alimentation du sportif est assimilée à celle de compétition. Or, les compétitions sont, en durée et en nombre, limitées à quelques jours dans l'année, à l'exception de quelques cyclistes ou autres sportifs professionnels. La plupart du temps, c'est l'alimentation de tous les jours, d'entraînements, de récupération ou d'intersaison qui sera au menu de la majorité des sportifs. Il s'agira alors de l'alimentation équilibrée et diversifiée pour la population générale à laquelle devraient s'ajouter, en fonction des besoins liés au sport, les apports spécifiques pour les compenser exactement. Un principe fondamental régit ce domaine : le respect de l'homéostasie, de l'équilibre physiologique. C'est la position qui a été adoptée par les auteurs et les experts du Comité d'experts spécialisé nutrition humaine de l'AFSSA pour la rédaction du chapitre 14 "sportifs et sujets d'activités physiques intenses" des ANC 2001 (A. Martin coord, 2001 [1]) ou pour les apports nutritionnels conseillés pour les enfants et adolescents sportifs de haut niveau de performance (M Vidailhet coord, 2004) ou pour le rapport du Scientific Committee on Food de la Commission Européenne [2]. Celui-ci sert de base au projet de directive CE en cours "Foods intended to meet the expenditure of intense muscular effort" (2005). Il s'agit alors de conseiller une alimentation équilibrée et diversifiée, éventuellement complétée lorsqu'il existe des besoins physiologiques spécifiques scientifiquement démontrés, par des apports spécifiques, éventuellement couverts par des produits réservés aux sportifs. Il s'agit là de la démarche classique de "l'Evidence Based Medicine" reposant sur des référentiels bénéficiant de consensus établis selon les règles.

Une des difficultés dans ce domaine est l'extrême diversité des pratiques physiques et sportives et tout autant des pratiquants. Ainsi, les dépenses énergétiques, pertes hydro électrolytiques et utilisation des sources énergétiques de resynthèse de l'ATP diffèrent très significativement selon le type de sport et le niveau de pratique. Il y a donc plusieurs profils ou typologies de sportifs à envisager sous l'angle nutritionnel. On peut, par exemple,

basé sur le type, le mode, l'intensité et la durée de pratique et les besoins nutritionnels, proposer les sports brefs et intenses, ceux à objectifs d'esthétisme, d'adresse, de forme, de glisse ou motorisés, ou bien encore ceux de ballon ou de balle, ceux de longue à très longue durée et d'intensité conduisant pratiquement à l'épuisement, mais également ceux de longue durée, mais d'activité physique plus que sportive de pleine nature et nautique. Une catégorie particulière, celle des sports à risque de troubles du comportement alimentaire où les liens entre activité sportive ou esthétique, composition corporelle et nutrition sont très significatifs [3].

La plupart des activités physiques et sportives consiste en des mouvements et gestes relevant de contractions musculaires. Celles-ci utilisent, avec un rendement au mieux de 25 %, des réserves énergétiques, permettant de produire du travail mécanique et surtout de la chaleur. La plus grande partie de cette production thermique endogène devra être dispersée (prévention de l'hyperthermie) vers l'environnement dont les caractéristiques de température et d'humidité rendront plus ou moins aisée la thermolyse par échanges secs et surtout humides, évaporation sudorale cutanée.

La réhydratation

Le premier besoin essentiel, reconnu et accepté par tous, est celui de réhydratation. Il relève autant de l'exercice musculaire que de l'environnement, échange entre le corps et le milieu dans lequel il évolue. En effet, les caractéristiques physiques ambiantes seront déterminantes des échanges thermiques entre l'homme et son environnement avec la possibilité de réaliser en toute sécurité ou bien avec plus ou moins de difficultés, voire de façon impossible, son APS.

S'il est reconnu que l'Homme est capable de soutenir des déséquilibres énergétiques sous forme de déficit pendant des périodes prolongées, il ne peut tolérer un déficit hydrique sans de graves conséquences pour sa santé et pour ses performances. Or, des débits sudoraux de 1 litre et plus par heure, ont pu être observés avec des pertes sudorales de 10,15 et même 20 litres par jour, bien sûr compensées par des apports hydriques très proches, respectant au plus près l'exigence d'équilibre [4]. En effet, dès 1 % de perte d'eau corporelle, l'endurance maximale aérobie, délai d'épuisement à un pourcentage donné de la puissance maximale aérobie, est diminuée d'environ une dizaine de pourcents, ce qui peut se traduire par le fameux "*mur du marathon*" en raison d'un épuisement précoce du glyco-gène musculaire. Si des pertes supérieures peuvent être tolérées, elles rendent progressivement plus difficile l'équilibre thermique avec le risque d'hyperthermie ou bien d'accident cardio-vasculaire chez les personnes prédisposées. C'est souligner l'importance d'une réhydratation au plus près des pertes en temps et en quantité avec, sous jacent, l'apport approprié de boisson. La sueur contient des minéraux, la plupart, si ce n'est tous ceux contenus dans le plasma, mais à des teneurs 2 à 4 fois plus faibles selon le débit sudoral et donc le degré d'acclimatation [5]. Ces minéraux sont prélevés sur les liquides extra et intracellulaires. Selon le capital corporel de chacun, le prélèvement sudoral peut être

plus ou moins conséquent, significatif pour le sodium au pool presque uniquement extracellulaire. Ainsi, des apports hydriques de 4 litres et plus, pratiquement sans sodium, pour compenser autant de pertes sudorales, ont pu s'accompagner d'hyponatrémie symptomatique ayant pu atteindre des niveaux dangereux avec oedème cérébral et complications, allant des signes neurologiques, jusqu'au coma, voire au décès [6,7,8]. A l'évidence, toutes les boissons pour sportifs devraient contenir du sodium en teneurs telles qu'elles compensent les pertes sudorales sans pour autant atteindre des niveaux donnant à la boisson un goût saumâtre [1]. En ce qui concerne les autres minéraux, cela devrait répondre au principe d'équilibre, à l'*evidence based medicine*, en proposant la compensation des pertes sudorales. Mais cela doit-il être systématique ou bien seulement optionnel ? La question est alors : quel déficit corporel est tolérable, permettant de différer les apports pour rétablir l'équilibre ? Quant aux pertes sudorales vitaminiques, elles paraissent limitées, tout comme leur utilisation à l'exercice, d'après les rapporteurs du SCF : ils n'en n'ont pas retenu l'addition aux boissons de réhydratation, sauf si elle s'accompagne d'apports glucidiques dont le métabolisme exige une telle vitamine et c'est facultatif (cf. plus loin). Bien sûr, dans la sueur, des métabolites de l'exercice et hormonaux sont également éliminés. Il s'agit, certes, de pertes irréversibles, mais l'origine endogène des hormones en interdit toute compensation par apport exogène : un avis du CCNESVS (1993 [9]) a été très clair sur ce sujet et tout apport relèverait du dopage.

Toutes les réglementations de produits pour sportifs ont prévu des aliments spécifiques de réhydratation et en particulier, le projet de directive européenne. En effet, tous doivent admettre qu'aucune boisson ne permet de faire face aux besoins spécifiques de réhydratation du sportif : elles contiennent, pour la plupart, très peu de sodium, ou les apports minéraux sont déséquilibrés, ou bien elles sont trop acides, ou trop riches en glucides. Le projet de directive européenne prévoit des solutions d'électrolytes et de glucides pour répondre aux besoins hydro-électrolytiques et d'énergie avant, pendant et après l'exercice. Dans tous les cas, s'agissant avant tout de réhydrater, la biodisponibilité des apports liquidiens est l'objectif majeur. Or, les débits maximaux de vidange gastrique et d'absorption intestinale ne permettent pas toujours d'assurer la réhydratation maximale souhaitée, ce que permettrait une perfusion, procédé désormais interdit par les lois anti-dopage. La recherche d'une boisson optimale est encore d'actualité.

Les apports énergétiques

Equilibrer les dépenses énergétiques, et, plus précisément, les nutriments dégradés pendant l'exercice pour re-synthétiser l'ATP est également l'un des objectifs de l'alimentation du sportif. A l'évidence, les 3 filières énergétiques sont à l'origine de besoins très différents. Celle anaérobie alactique fait appel à la phosphocréatine pour les exercices durant quelques quinzaines de secondes et pouvant être d'intensité parfois très élevée, support des exercices de force, de puissance ou de vélocité. Aux besoins énergétiques peuvent s'ajouter des objectifs de développement de la masse musculaire. La teneur en créatine

phosphate musculaire est faible, à peine 2 à 3 fois supérieure à celle de l'ATP, particulièrement basse, d'où la nécessité d'être rapidement régénérée par les autres filières énergétiques. Il y a une régénération presque totale de la créatine phosphate après son utilisation d'où des créatininuries peu augmentées chez le sportif, même après des APS longues ou intenses. De plus, la créatine est synthétisée par plusieurs organes chez l'Homme, à partir d'arginine, glycine et méthionine, apportés largement par les protéines alimentaires. Cela s'ajoute à l'apport exogène par les aliments d'origine animale comme les poissons ou les viandes à raison de 4 à 6 g/kg. De ce fait, même les végétariens n'ont pas de besoins spécifiques en créatine en raison de l'intervention de la synthèse endogène. Aussi, le projet de directive européenne mentionne, considérant que la créatine peut être d'origine endogène ou exogène apportée par les aliments courants ou par des produits pour sportifs, que pour la créatine et les produits additionnés de créatine, des instructions doivent être portées pour que l'ingestion quotidienne ne dépasse pas 3 g/jour. En effet, une incertitude demeure sur son innocuité pour des apports supérieurs non physiologiques [3,10,11].

Les performances dans les épreuves relevant de cette filière énergétique impliquent souvent de développer la masse musculaire. Il s'agit donc de favoriser l'accrétion protéique tandis que les entraînements plus ou moins contraignants peuvent s'accompagner de lésions musculaires avec pertes de protéines et ainsi négativer le bilan. Des questions restent encore en suspens sur l'efficacité des apports protéiques, même chez les pratiquants de haut niveau en haltérophilie ou en culturisme. Il s'agit en effet d'aller au-delà des apports physiologiques, mais le consensus n'est pas encore réalisé sur les limites supérieures d'apports. Par rapport aux recommandations antérieures [12], les valeurs ont récemment été revues très fortement à la baisse même si les méthodes d'études des besoins en protéines, bilans azotés équilibrés, méthodes factorielles, enquêtes nutritionnelles, ne permettent pas encore de les justifier. Pour la majorité des pratiquants, l'ANC en protéines pour la population correspondante suffit, alors même que les ingestions de protéines sont excessives chez la majorité des Français [13,14]. Pour les pratiquants de très haut niveau, des apports à 1,5 à 2 fois les ANC sont probablement à recommander, 1,2 à 1,7 fois l'ANC pouvant être considéré comme suffisant dans la majorité des cas. La qualité des protéines est sûrement essentielle pour une assimilation optimale [15] et la directive européenne le prend bien en compte, proposant des concentrés de protéines ou des aliments enrichis en protéines dont le NPU doit être suffisant, tandis que l'addition d'acides aminés n'est permise que pour améliorer la valeur nutritionnelle et seulement en proportion nécessaire pour cela.

Chez beaucoup de sportifs, les erreurs alimentaires sont fréquentes et importantes, et rendent bien discutables beaucoup de propositions de "suppléments", avant même de songer à corriger les erreurs [1].

Pour la filière anaérobie lactique, dégradation du glycogène par la voie de la glycolyse anaérobie, la production de lactate et la diminution de pH intramusculaire sont réversibles. Il n'y a donc pas de réel besoin chez les pratiquants sportifs utilisant cette filière énergétique, hormis ceux de développement de la masse

musculaire (voir filière AA) et d'apports légèrement accrus de glucides.

Des apports en hydrogencarbonate de sodium ont été proposés pour les compétitions ; ils sont actuellement très discutés, à la fois en termes éthique et toxicologique.

La filière aérobie assure la couverture énergétique de la plupart des activités physiques et sportives, celles qui durent plus de quelques minutes. En effet, ce sont celles qui sont considérées comme les plus intéressantes pour la santé, puisqu'elles sollicitent la plupart des fonctions impliquées dans la nutrition depuis le tube digestif jusqu'aux organes excréteurs, ainsi que les systèmes cardio-vasculaire et pulmonaire, et bien sûr l'appareil locomoteur [16].

Si les apports hydriques sont la première exigence à satisfaire, l'équilibre entre les apports et les dépenses énergétiques sera ensuite à assurer, en particulier sous la forme des macronutriments, glucides d'abord, protéines ensuite.

Dans ce domaine, les dépenses énergétiques peuvent varier considérablement selon la durée, l'intensité, et le niveau du pratiquant sportif [17]. Si les dépenses du pratiquant occasionnel jusqu'à 3 fois par semaine, une heure par session, diffèrent finalement très peu du sujet peu actif, de l'ordre de 2 200 à 2 500 kcal/jour, par contre celles du sportif de haut niveau peuvent s'élever à 5 000 kcal/jour, voire 6 500 et plus, parfois pendant plusieurs semaines (Tours cyclistes) [18]. Les besoins varient considérablement aussi en cours de saison avec pour ces mêmes professionnels des dépenses à l'intersaison qui peuvent ne pas dépasser les 3 000 kcal/jour et donc diminuer de moitié [1]. De l'équilibre entre dépenses et apports énergétiques va dépendre l'évolution du poids corporel, souci de beaucoup de pratiquants, impliquant parfois des sacrifices importants lorsque poids d'équilibre, poids de forme et poids optimal sont trop éloignés.

Ces exigences de composition corporelle s'accompagnent, pour un certain nombre de spécialités sportives ou artistiques, de troubles du comportement alimentaire, véritable souci des parents, des éducateurs, comme du corps médical [14]. Il pourra s'agir alors, dans un certain nombre de cas, de faire appel à des aliments de restriction calorique. Ils ne sont pas prévus pour sportifs, et pourtant ils peuvent être utiles.

L'augmentation des dépenses énergétiques devrait être équilibrée par une augmentation des apports. Il semble bien démontré que ce sont ceux de glucides qui sont à privilégier tout en apportant une proportion de protéines suffisantes et en maintenant les apports de lipides, tout comme de vitamines, au moins égaux aux ANC pour la population générale [1].

Il est bien admis que la teneur en glycogène musculaire en début d'exercice et l'aptitude à la lipolyse sont déterminantes de l'endurance maximale aérobie [17]. Lorsque le glycogène musculaire est presque épuisé lors d'exercices de quelques minutes à plusieurs heures, le sportif doit nettement ralentir son allure, les débits de néoglucogenèse hépatique et de lipolyse étant faibles. La glycolyse aérobie peut atteindre jusqu'à 200 g/h, réalisée à partir du glycogène musculaire et du glucose plasmatique alimenté par la glycolyse hépatique et les glucides ingérés pendant l'exercice. La teneur en glycogène musculaire dépend

du niveau d'entraînement, du délai d'épuisement initial et de la quantité de glucides alimentaires tant en valeur absolue, de 10 à 12 g/kg/jour, que relative (jusqu'à 70 % de l'apport énergétique total quotidien) [19]. A l'opposé, un apport accru de lipides y compris de TCM [20] a un effet délétère sur les réserves de glycogène, sans pour autant augmenter significativement la disponibilité des lipides de réserves à l'exercice, hors le fait que la teneur insuffisante en glycogène musculaire oblige le muscle à faire appel à la lipolyse.

Des nombreux essais encore récents, il s'avère que les caractéristiques des glucides agissent directement sur la disponibilité maximale pendant l'exercice et la resynthèse du glycogène la plus précoce possible du glucose [21]. Le régime dissocié scandinave modifié [Sherman in 17] a toujours sa valeur, basé sur des glucides complexes d'index glycémique bas, complétés par des apports simples d'index glycémique élevé à très élevé, à l'approche, voire pendant l'exercice. L'ingestion de plusieurs mono ou dis-saccharides semble plus efficace qu'un seul ou l'ingestion de maltodextrines, sauf lors d'exercices intenses par basses températures où des solutions plus concentrées, tout en restant isotoniques, sont consommées [22]. Là encore, comme pour la boisson, un des facteurs limitants pendant l'exercice est la biodisponibilité, tant en termes de vidange gastrique que d'absorption intestinale, des solutions glucidiques avec la recherche toujours actuelle de l'apport optimal. Ceci est également vérifié après l'exercice où il est démontré que des apports fractionnés dès sa fin et en quantité suffisante, jusqu'à 1-1,5 g/kg/heure pendant 4 h [23,24], peuvent conduire à des resynthèses glycogéniques tirant parti au mieux de l'insulinémie réaugmentée après l'exercice [25], sans toutefois atteindre les débits de resynthèse observés lors de perfusions. Ces apports glucidiques complètent ceux hydro-électrolytiques. Il doit y avoir alors compatibilité entre les différents apports qui sont à moduler en fonction des besoins de réhydratation ou de resucrage selon le degré de déshydratation ou l'intensité d'exercice. Il est important de souligner l'importance de la précocité de l'apport de glucides dès la fin de l'exercice voire même avant, puisqu'une certaine resynthèse de glycogène a pu être observée au moins chez le sportif entraîné dans les muscles moins utilisés à la fin de l'épreuve. Une question non complètement résolue actuellement concerne l'ajout de protéines en petites quantités, environ 4 fois moins que de glucides pendant l'exercice ou à la boisson de récupération [26,27,28]. L'insulinémie semble plus élevée pouvant favoriser à la fois la resynthèse du glycogène hépatique et musculaire mais aussi la réparation des lésions musculaires protéiques. En contrepartie, si l'exercice a pour objectif une mobilisation accrue des lipides, celle-ci est inhibée par l'insulinémie augmentée. La stratégie d'apport de glucides après l'exercice, tout comme avant ou pendant, doit bien prendre en compte l'objectif soit d'une performance sportive et de son éventuelle répétition ou d'une reprise précoce de l'entraînement, soit la mobilisation maximale des réserves adipeuses [29]. Dans ce cas, les apports de glucides sont à réduire et devraient faire appel à des glucides complexes d'index bas. Le problème est alors celui de la dégradation associée d'acides aminés. Il ne semble pas définitivement démontré que l'ingestion de protéines peu avant et pendant l'exercice soit

un réel facteur d'économie d'utilisation des acides aminés de l'organisme pendant l'exercice [Sherman in 27].

Actuellement, les protéines et en particulier leurs acides aminés constitutifs, sont l'objet de recherches en raison de leurs fonctions potentielles pour l'exercice musculaire aérobie. Si, pour l'exercice bref et intense déjà évoqué, il s'agira de favoriser l'accrétion protéique, pour l'exercice de longue durée, il s'agira de réparer les fibres musculaires lésées en particulier lors des exercices excentriques ou bien aussi servir de substrats énergétiques qu'il s'agisse d'exercices de longue durée avec des difficultés d'approvisionnement en cours de route, ou bien d'exercices réalisés dans un but de perte pondérale [30]. Mais les acides aminés participent à d'autres fonctions qui intéressent les sportifs, au moins de haut niveau de performance, tels que la synthèse d'hormones peptidiques, le stress oxydatif, les défenses immunitaires [31]. Qu'il s'agisse de développement de la masse musculaire ou de réparation des lésions, cela implique des contractions musculaires préalables, un apport d'acides aminés, en particulier indispensables, en proportions convenables et des facteurs hormonaux de régénération, en particulier l'insuline, hormone de croissance et IGF1 et hormones anabolisantes (testostérone ou œstrogènes). La présence de glucides est nécessaire pour apporter l'énergie à cette resynthèse. Pas plus que la répartition optimale entre les différents acides aminés indispensables, semble bien définie, les quantités optimales d'apports sont connues. Ainsi des apports aussi faibles que 0,1 à 0,2 g/kg paraissent suffisants, tandis que des apports supérieurs n'ont pas montré d'effets anaboliques plus importants [32]. Comme pour la resynthèse du glycogène, des apports répétés, en petites quantités, sur une période suffisante semblent les plus efficaces, avec le rôle possible de la nature des protéines. Les prises répétées semblent plutôt conseillées pour des protéines "rapides", tandis que, s'il s'agit de protéines "lentes", les apports pourraient, peut-être, être plus espacés [15]. Là encore, des travaux restent à réaliser pour bien définir la nature des apports optimaux.

Comme substrat énergétique de remplacement, c'est-à-dire se substituant aux glucides insuffisamment disponibles pendant ou après l'exercice pour la synthèse du glycogène musculaire, les acides aminés glycoformateurs peuvent être intéressants en apport alimentaire, s'ils assurent ainsi une économie du pool d'acides aminés et de protéines corporelles, en particulier musculaires. Si l'apport protéique a un effet favorable sur l'insulinémie, en particulier pour les acides aminés sécrétogènes, il ne semble pas que les protéines ou acides aminés aient un effet supérieur ni même égal à un apport de glucides, surtout s'il est important, tant sur le débit oxydatif à l'exercice que la resynthèse de glycogène musculaire [31]. Dans tous les cas, les radicaux NH₂ ou ammoniacque sont à éliminer, ce qui sollicite les fonctions uréogénétique hépatique et excrétoire rénale et sudorale. Peut-on les considérer comme une charge supplémentaire pour l'organisme à l'exercice ? Pour les autres fonctions, si il est démontré que des déficits d'apport d'acides aminés, de fait de protéines, peuvent participer à des incidents de santé ou à des défenses amoindries, des apports supérieurs aux ANC pour la

population générale sont suivis de façon très inconstante d'effets bénéfiques démontrés scientifiquement. La conclusion est qu'un apport de protéines conforme aux ANC pour sportifs soit de 1 à 1,2 voire 1,5 fois les ANC généraux suffisent à faire face aux besoins de toutes les conditions de pratiques sportives aérobie [30].

Les apports en micronutriments

Que proposer pour les micronutriments ? Les positions française et européenne diffèrent légèrement : les ANC pour sportifs [1] avaient reconnu des besoins supérieurs de minéraux et de vitamines, justifiées par les pertes sudorales, de fait très limitées pour les vitamines, et une utilisation métabolique accrue. Cette sur-utilisation métabolique ne semble pas acceptée par les scientifiques du SCF [2] et, de ce fait, aucun complément n'est prévu dans le projet de directive européenne. Il est cependant nécessaire d'apporter aux sportifs au moins les ANC en vitamines, en particulier pour les sportifs de haut niveau de performance. En cas de restriction énergétique, il paraît justifié de proposer des compléments faisant appel aux produits diététiques pour la population générale, même s'ils ne semblent pas vraiment adaptés aux besoins spécifiques du sportif, certes discutés. Au-delà de ces compléments destinés aux sportifs en déficit d'apport énergétique, situation de fait très discutable, les suppléments ne bénéficient pas de justification auprès des scientifiques du SCF [2]. Ils existent cependant sur le marché et plutôt que de les laisser sans statut, une position officielle devrait être prise pour que cette zone mal définie soit l'objet d'une position officielle afin d'éviter tout dérapage vers la recherche de produits miracles, la tricherie et le dopage.

Conclusion

Fondamentalement, la nutrition du sportif doit, tout comme l'entraînement et les pratiques physiques et sportives, apparaître réellement bénéfique pour la santé et la performance.

Références

- [1] Apports nutritionnels conseillés pour la population française. Martin A coord. Lavoisier Ed, Paris 2001, 605 pp.
- [2] SCF. Report of the Scientific Committee on Food on composition and specification of food intended to meet the expenditure of intense muscular effort, especially for sportsmen. (2000 et 2001). 50 pp.
- [3] Le guide sport et santé. Rey O, Korsia-Mefffre, Grosleau P, réd., Barrault D et Pérès G, cons. Sci.. Vidal Ed, Paris, 2005 ; 429 pp.
- [4] Melin B, Cure M, Jimenez C *et al.* Déshydratation, réhydratation et exercice musculaire en ambiance chaude. *Cah Nutr Diét* 1990 ; 25 : 383-388.
- [5] Brouns F. Les besoins nutritionnels des athlètes. Masson Ed, 1994 ; 128 pp.

- [6] Noakes TD, Norman RJ, Buck RH *et al.* The incidence of hyponatremia during prolonged ultraendurance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1990; 22 : 165-170.
- [7] Hsieh M, Roth R, Davis DL, Larrabee H, Callaway CW. Hyponatremia in runners requiring on-site medical treatment at a single marathon. *Med Sci Sports Ex* 2002; 34:182-5.
- [8] Davis DP, Videen JS, Marino A *et al.* Exercise-associated hyponatremia in marathon runners : a two years experience. *J Emerg Med* 2001; 21:47-57.
- [9] Comité consultatif national d'éthique pour les sciences de la vie et de la santé. Avis sur la compensation hormonale lors de l'exercice. 2003.
- [10] Wyss M, Kaddurah-Daouk R. Creatine and creatinine metabolism. *Physiol Rev* 2000 ; 80: 1107-25.
- [11] AFSSA. Rapport : l'évaluation des risques présentés par la créatine pour le consommateur - véracité des allégations relatives à la performance sportive ou à l'augmentation de la masse musculaire. 2001. 102 pp.
- [12] Tarnopolsky MA, Mac Dougall JD, Atkinson SA. Influence of protein intake and training status on nitrogen balance and lean body mass. *J Appl Physiol* 1988; 64 : 187-193.
- [13] Phillips SM. Protein requirements and supplementation in strength sports. *Nutrition* 2004 ; 20 :689-695.
- [14] Apports nutritionnels conseillés pour les enfants et les adolescents sportifs de haut niveau. M Vidailhet coord. Ed Lavoisier, Paris, 2004.
- [15] Tipton KD, Elliott TA, Cree MG *et al.* Ingestion of casein and whey proteins result in muscle anabolism after resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36:2073-81.
- [16] American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Williams & Wilkins Ed, 5th Ed 1995. 373pp.
- [17] Astrand PO, Rodahl K. Précis de physiologie de l'exercice musculaire. Trad. JR Lacour. Masson Ed, Paris. 1994. pp.
- [18] Saris WHM, Von Erp-Baart MA, Brouns F. Study on food intake and energy expenditure during extreme sustained exercise; the Tour de France. *Int J Sports Med* 1989; 10: S26-S31.
- [19] Costill DL. Carbohydrates for exercise: dietary demands for optimal performance. *Int J Sports Med* 1988; 9:1-18.
- [20] Decombaz J, Arnaud MJ, Milon H, Moesch H, Philippoussian G, Thelin AL, Howald H. Energy metabolism of medium-chain triglycerides versus carbohydrates during exercise. *Eur J Appl Physiol* 1983; 52:9-14.
- [21] Burke LM, Cox GR, Cummings NK, Desbrow B. Guidelines for daily carbohydrate intake. Do athletes achieve them? *Sports Med* 2001; 31:267-299.
- [22] Jentsens RPLG, Achten J, Jeukendrup AE. High oxidation rates from combined carbohydrates ingested during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36:1551-8.
- [23] Ivy JL, Katz AL, Cutler CL, Sherman WM, Coyle EF : Muscle glycogen synthesis after exercise : effect of time of carbohydrate ingestion. *J Appl Physiol* 1988a, 64: 1480-1485.
- [24] Ivy JL, Lee MC, Brozinick JT, Reed MJ : Muscle glycogen storage after different amounts of carbohydrate ingestion. *J Appl Physiol* 1988b, 65: 2018-2023.
- [25] Ivy JL. Muscle glycogen synthesis before and after exercise. *Sports Med* 1991; 11:6-19.
- [26] Koopman R, Pannemans DLE, Jeukendrup AE *et al.* Combined ingestion of protein and carbohydrate improves protein balance during ultra-endurance exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2004; 287:E712-20.
- [27] Saunders MJ, Kane MD, Todd MK. Effects of a carbohydrate-protein beverage on cycling endurance and muscle damage. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36:1233-8.
- [28] Ivy JL, Goforth Jr HW, Damon BM, McCauley TR, Parsons EC, Price TB. Early postexercise glycogen recovery is enhanced with a carbohydrate-protein supplement. *J Appl Physiol* 2002; 93:1337-44.
- [29] Brooks GA, Mercier J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept. *J Appl Physiol* 1994;76:2253-61.
- [30] Tarnopolsky M. Protein requirements for endurance exercise. *Nutrition* 2004; 20:662-8.
- [31] Decombaz J. Protéines et acides aminés dans la récupération post-effort. *Sciences Sports* 2004 ; 19 :228-233.
- [32] Tipton KD, Ferrando AA, Phillips SM, Doyle Jr D, Wolfe RR. Postexercise net protein synthesis in human muscle from orally administered amino acids. *Am J Physiol* 1999 ; 276:E628-34.

Institut Français pour la Nutrition
71 Avenue Victor Hugo
75116 PARIS
Tél : 01 45 00 92 50
Institut.nutrition@ifn.asso.fr
Président : Jean-Paul Laplace
Secrétaire Générale : Florence Strigler

