

Restrictions volontaires de l'apport alimentaire et balance énergétique

Pour certaines disciplines sportives, le poids et la composition corporelle représentent de véritables facteurs déterminants de la performance. Ceci est vrai pour la gymnastique, discipline pour laquelle un faible poids corporel et un faible pourcentage de masse grasse sont communément associés aux performances. De même, pour des disciplines dites à catégories de poids, comme le judo, la lutte, la boxe, le contrôle du poids corporel est déterminant pour l'inclusion dans une catégorie prédéterminée.

Chez les gymnastes et danseuses classiques, les apports énergétiques sont très faibles, équivalant à 1,4–1,6 fois le métabolisme de base d'adultes sédentaires, et ce malgré 3–4 h d'entraînement quotidien, soit approximativement 2 200 kcal/j ($1,5 \times 1\,500$ kcal).

La restriction d'apport énergétique se traduit par une baisse des réserves : perte en glycogène hépatique et de près de 50 % des réserves en glycogène musculaire ; cette attrition des réserves en glycogène est associée à une perte en protéines totales pour l'ensemble de l'organisme. La qualité de la resynthèse des protéines et du glycogène musculaire et hépatique va dépendre de la quantité d'énergie et de glucides consommés. Ainsi, dans ces conditions de restriction énergétique volontaire, la densité de la ration hypocalorique en glucides va représenter un facteur déterminant de la capacité à l'exercice, et de la tolérance de l'entraînement.

Effets secondaires de ces pratiques nutritionnelles

Chez les athlètes féminines soumises à des périodes de restriction d'apport énergétique, les troubles des règles sont fréquents. Il existe, chez ces athlètes entraînées, une relation entre les faibles apports énergétiques, la baisse de la production de leptine et l'apparition de troubles des cycles menstruels. Même si le déficit d'apport énergétique n'est que l'un des multiples facteurs susceptibles d'être à l'origine de troubles des règles, son rôle est certain et mérite d'être rappelé ici. Les conséquences de ces oligo-aménorrhées sont nombreuses et concernent en particulier les structures osseuses et le pouvoir oxyphorique du sang. Les troubles endocriniens à l'origine de l'oligo-aménorrhée induisent une diminution de la densité minérale osseuse avec un risque important de fracture de fatigue, et d'ostéoporose à long terme. La restauration d'un cycle normal chez la femme athlète ne permet cependant pas de recouvrer une densité osseuse correcte. La seconde conséquence des restrictions d'apport énergétique est le déficit d'apport en fer, la diminution des réserves en fer et le développement d'anémies ferriprives. Enfin, des hypotestostéronémies associées à des troubles sexuels ont été rapportées chez des hommes entraînés soumis à des régimes restrictifs sévères, avec perte importante du poids corporel et de la masse grasse.

Recommandations d'apport énergétique chez le sportif entraîné

Chez les sportifs d'endurance, dès lors que l'entraînement tient une place importante (plus de 90 min/jour), on recommande des apports d'au minimum 50 à 55 kcal/kg/j [1]. Un

apport énergétique quotidien variant de 3 000 à 6 000 kcal est nécessaire pour équilibrer la balance énergétique [4].

L'apport énergétique de femmes d'âge moyen et sédentaires peut être estimé à 1 800–2 200 kcal/j. Pour des sportives confirmées, l'apport énergétique recommandé est évalué à 2 600–3 300 kcal/j, en fonction de la discipline pratiquée, de son intensité et de sa fréquence, ce qui correspond à un apport quotidien de 45–50 kcal/kg. Les enquêtes nutritionnelles de terrain réalisées chez les femmes sportives sont assez alarmantes puisqu'il s'avère que pour la grande majorité d'entre elles, les apports énergétiques sont inférieurs aux minima recommandés. Il est fort probable que cette absence de concordance entre les apports avoués et les dépenses estimées repose, au moins en partie, sur une sous-estimation de l'apport nutritionnel. Le problème se pose avec une toute particulière acuité chez les jeunes danseuses et gymnastes.

Conseils nutritionnels aux sportifs d'endurance

Raisonnant par grands types de disciplines sportives, de très nombreux travaux ont bien mis en évidence le rôle déterminant des glucides pour les performances physiques réalisées au cours des exercices de longue durée, dits en endurance. La connaissance des voies métaboliques mises en jeu lors de ce type d'exercice indique que la dépense énergétique est essentiellement couverte par les substrats glucidiques en début d'effort, les substrats lipidiques prenant une place progressivement plus importante lors de l'épuisement progressif des réserves glycogéniques sous l'effet de la durée de l'effort. Le maintien d'une bonne disponibilité en glucides permet de reculer les limites de la fatigue, ce qui permet d'expliquer les besoins en nutriments glucidiques chez les sportifs, avant et pendant l'effort.

Comme nous le verrons dans ce chapitre, il existe au cours de l'exercice physique une véritable compétition d'utilisation entre glucose et acides gras ; cette notion est fondamentale pour comprendre les facteurs impliqués dans les performances en endurance dans la mesure où le muscle est capable d'utiliser soit un substrat énergétique présent en quantité limitée dans l'organisme (le glucose), soit une famille de substrats dont les réserves sont considérables (les acides gras). Au cours de l'exercice de longue durée, les éléments par lesquels la nutrition joue un rôle important pour les performances tiennent principalement à la parfaite disponibilité en glucose et au maintien de l'équilibre hydrominéral. Les autres particularités nutritionnelles de ce type d'épreuve sportive sont largement détaillées dans d'autres ouvrages [11].

Généralités sur les glucides

Les glucides constituent une grande famille de composés organiques, qui comprend des sucres simples (monosaccharides) ou des polymères de sucres simples (polysaccharides). Les monosaccharides sont composés d'une seule molécule, à 5 (les pentoses), ou à 6 atomes de carbone (les hexoses). Les plus importants sur le plan énergétique sont les hexoses, c'est-à-dire des sucres à 6 atomes de carbone. Leur formule brute est $C_6H_{12}O_6$; à cette formule brute correspondent 16 isomères dont les plus importants sur le plan métabolique sont le glucose, le fructose, le galactose.

Les oligosaccharides sont composés d'un petit nombre de molécules; la plupart sont des disaccharides, dont les plus importants sont le sucrose (ou saccharose), fait de glucose et de fructose, le lactose (glucose + galactose) et le maltose (2 molécules de glucose). Pour être absorbés au niveau du tube digestif, les oligosaccharides doivent subir une hydrolyse par des enzymes salivaires et pancréatiques qui les transforment en monosaccharides. De ce fait, leur absorption digestive est moins rapide que celle des sucres simples.

Les polysaccharides sont constitués de l'assemblage d'un très grand nombre de monosaccharides. Ils se transforment par hydrolyse, en plus de dix molécules de monosaccharides. Le glycogène est la forme de stockage musculaire et hépatique des glucides; chez les mammifères, c'est un polymère de glucose. L'organisme d'un homme adulte contient approximativement 300 à 500 g de glycogène musculaire et 50 à 150 g de glycogène hépatique; cette dernière valeur étant très variable selon l'état du sujet, à jeun ou nourri, et suivant son état d'entraînement.

L'amidon est la forme de réserve la plus répandue des hydrates de carbone des végétaux, c'est la plus importante source alimentaire d'hydrates de carbone. Les sources d'amidon sont le blé et ses dérivés, le riz et la pomme de terre qui fournissent 60 % de glucides. La nature physicochimique des différents types de glucides conditionne leur absorption intestinale et leur disponibilité dans l'organisme. On distingue des sucres dits rapides, tels que le glucose pour lequel le transfert de l'intestin vers le torrent circulatoire est rapide, des sucres dits lents qui subissent plusieurs étapes entre l'absorption orale et l'apparition sous forme de monosaccharide dans le sang en raison de leurs natures chimiques ou bien de leurs structures physiques. Par exemple, la présence d'une enveloppe et de fibres autour de l'amidon des végétaux ralentit l'attaque enzymatique et l'absorption intestinale.

Déterminants du besoin glucidique chez le sportif d'endurance

De nombreux travaux ont mis en évidence le rôle déterminant des glucides pour les performances physiques; ces nutriments sont les carburants principaux des efforts courts et intenses. La connaissance des voies métaboliques mises en jeu lors des exercices prolongés indique que la dépense énergétique est essentiellement couverte par les substrats glucidiques en début d'effort, alors que les substrats lipidiques prennent une place de plus en plus importante lors de l'épuisement progressif des réserves glycogéniques avec la durée de l'effort. Le maintien d'une disponibilité minimale en glucides permet de reculer les limites de la fatigue. Ces données expliquent l'augmentation du besoin en nutriments glucidiques chez les sportifs, avant et pendant l'effort. La physiologie du métabolisme du glycogène, forme de réserve du glucose, permet de comprendre le rôle des nutriments glucidiques sur la performance physique.

Glycogène musculaire

Les glucides représentent les substrats préférentiellement utilisés par le muscle lors des efforts intenses au-delà de quelques secondes et jusqu'à plusieurs heures. Le niveau d'utilisation des glucides dépend de deux principaux facteurs qui sont l'intensité et la durée de l'exercice physique.

Au cours de l'exercice physique, les besoins en glucides sont en grande partie couverts à partir des réserves glycogéniques musculaires. L'épuisement du glycogène musculaire survient après environ 90 min d'exercice à 75 % de $\dot{V}O_2\text{max}$, et en 4 h à 55 % de $\dot{V}O_2\text{max}$ [19, 21]. L'épuisement du glycogène musculaire n'impose pas l'arrêt du travail musculaire, mais limite considérablement la capacité de travail.

Glycogène hépatique

La production hépatique de glucose (PHG) est le seul moyen de contribuer à l'approvisionnement en glucose du sang circulant en dehors des apports alimentaires. Avec l'épuisement progressif du glycogène musculaire, la part prise par le glucose plasmatique dans la fourniture énergétique devient prédominante (figure 17.3). Le maintien de la glycémie devient crucial et la production de glucose par le foie augmente progressivement; lors d'un exercice intense ou lorsque le glycogène musculaire s'épuise, le débit de la PHG peut être de 4 à 5 fois supérieur au débit de repos.

Deux voies métaboliques contribuent à la PHG : la glycogénolyse et la néoglucogénèse. Leur contribution relative dépend de l'intensité et de la durée de l'exercice. En début d'exercice, la glycogénolyse est la voie prépondérante, alors que la néoglucogénèse devient majeure lors d'un exercice prolongé. La stimulation de ces voies métaboliques est hormonale, et résulte de l'élévation des catécholamines, du glucagon et de la baisse de l'insuline. La néoglucogénèse permet de pallier la diminution du débit de la glycogénolyse dès lors que le glycogène hépatique diminue; elle remplace progressivement la glycogénolyse hépatique lors de l'exercice physique prolongé et assure la quasi-totalité de la production de glucose endogène lorsque l'exercice physique dépasse 3 ou 4 heures. Les principaux précurseurs de la néoglucogénèse sont le lactate, l'alanine et le glycérol; cette voie métabolique qui permet de produire du glucose à partir de précurseurs est inductible par le jeûne et l'exercice physique. La capacité maximale de production de glucose par la néoglucogénèse augmente de manière importante avec l'état d'entraînement.

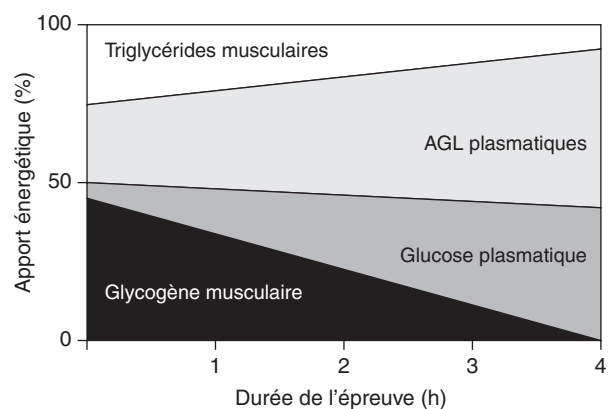


Figure 17.3. Pourcentage de l'apport énergétique au cours d'un exercice de 50–55 % de $\dot{V}O_2\text{max}$. Dès le début de l'exercice, l'apport en énergie est fourni pour moitié par les substrats lipidiques (partie supérieure du schéma) et pour moitié par les substrats glucidiques (partie inférieure du schéma). Pour chaque grand type de substrat, l'origine est précisée, locale (musculaire), ou systémique (plasmatique). AGL : acides gras libres.

Nutrition glucidique et performance

Effet des régimes enrichis en glucides en préparation d'une épreuve

Il a été démontré que ce type de régime augmente le taux de glycogène de l'organisme, qu'il soit musculaire ou hépatique. Chez l'homme, le niveau des réserves en glycogène hépatique et musculaire dépend exclusivement des apports alimentaires en glucides. Une alimentation hyperglucidique apportant 400 à 600 g de glucides par 24 h permet d'augmenter d'environ 200 % les réserves de glycogène hépatique. Le rôle critique du niveau des réserves glycogéniques sur la performance est mis en évidence par les études de charge glucidique pendant plusieurs jours. Le temps maximal de maintien d'un exercice de longue durée est ainsi très dépendant du contenu en glucides de la ration alimentaire (figure 17.4) [18]. On a montré que l'augmentation de performance par la nutrition glucidique était corrélée avec celle des réserves glycogéniques musculaires et hépatiques [19].

En revanche, le niveau initial des réserves glycogéniques n'influence pas sensiblement la performance pour des efforts maximaux inférieurs à 90 min [17]. Pour de telles durées d'exercice, le taux de glycogène musculaire initial n'agit pas sur le débit de la glycogénolyse et le taux de glycogène restant dans le muscle en cours d'effort ne joue pas de rôle limitant sur la performance, dans la mesure où celui-ci n'est pas épuisé à l'issue de telles épreuves. Pour des efforts plus longs, supérieurs à 90 min, la majorité des études confirme les résultats historiques de Bergström et de son équipe qui ont mis en évidence une amélioration de performance sous l'effet d'un régime préalablement enrichi en glucides [10]. Pour des efforts durant de 100 à 160 min, on atteint l'épuisement du glycogène musculaire et son augmentation avant l'effort, sous l'effet d'un régime hyperglucidique suivi pendant plusieurs jours, permet d'améliorer la performance [17].

L'action des régimes enrichis en hydrates de carbone sur la performance se manifeste aussi pour des efforts

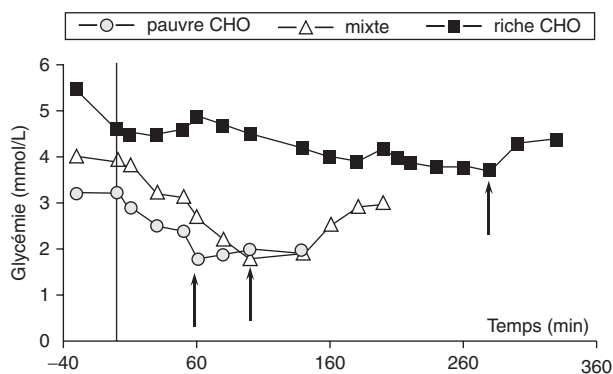


Figure 17.4 Évolution de la glycémie au cours de l'exercice à 75 % de $\dot{V}O_2\text{max}$, chez un sujet soumis à trois types de régimes préalables, d'après Hultman [18]. Les flèches représentent le temps de maintien de l'exercice, et montrent la relation entre l'apport alimentaire en hydrates de carbone et la performance au cours de l'exercice de longue durée. CHO : glucides.

intermittents prolongés tels qu'ils sont observés lors de la pratique des sports collectifs. Un travail réalisé sur des joueurs de football montre qu'un régime hyperglucidique qui augmente le glycogène musculaire permet à ces joueurs d'avoir un pourcentage beaucoup plus élevé d'actions de jeu à haute intensité physique lors des 90 min d'un match [8]; cette donnée est applicable à de nombreux sports collectifs dont la durée des matchs est suffisamment longue pour réduire les réserves endogènes de glycogène.

Comparé à une alimentation normoglucidique, le régime hyperglucidique apporte un gain significatif (mais relativement faible) de performance pour des efforts prolongés continus ou intermittents. En revanche, une alimentation habituelle insuffisante en glucides peut diminuer les capacités d'effort en endurance même pour des efforts plus courts que ceux pour lesquels la nutrition glucidique est reconnue comme un moyen efficace d'amélioration des performances.

Effets de la nutrition glucidique avant l'exercice physique

L'apport glucidique à l'approche d'une épreuve sportive a pour but principal d'apporter des nutriments glucidiques qui vont participer directement à la fourniture d'énergie pendant l'effort. Le rôle de l'apport de nutriments glucidiques administrés dans les heures qui précèdent l'exercice physique sur la performance a fait l'objet de résultats très contradictoires; certaines études mettant en évidence une amélioration des performances [25], d'autres une diminution (Foster *et al.*, 1979), ou une absence d'effet [15]. Ces contradictions s'expliquent essentiellement par les différences dans le moment de l'ingestion des glucides avant l'effort, la quantité, la nature de l'apport, mais aussi le type (et l'intensité) des exercices-tests ou épreuves qui suivent. On a largement rapporté que l'ingestion de glucose avant l'exercice était suivie d'une hyperglycémie réactionnelle qui provoque une forte réponse insulinaire. Cette réponse insulinaire est alors susceptible d'induire une hypoglycémie dès le début de l'épreuve. Ce phénomène a été rendu responsable de la diminution de performance lors d'un effort précédé de l'ingestion d'un sucre rapide quelques dizaines de minutes avant son début.

Des études comparatives ont montré que pour un apport calorique identique à celui du glucose, l'absorption de riz ou de pâtes alimentaires réduit de 50 % la réponse insulinaire et ne produit pas d'hypoglycémie réactionnelle (figure 17.5) [16]. Ainsi, l'ingestion avant l'effort d'un sucre à faible indice glycémique (IG) augmente les réserves de sucre sous forme de glycogène musculaire et favorise l'utilisation des substrats lipidiques pendant l'effort. Après des résultats initiaux contradictoires en raison de différences dans les protocoles expérimentaux, il est désormais démontré que l'ingestion de sucres lents améliore de façon modérée mais significative la performance pour des efforts prolongés au-delà d'une heure avec un niveau d'intensité élevé, sans pour autant affecter la glycémie en début d'épreuve [26].

La nutrition glucidique pendant l'exercice

Lors de l'exercice prolongé (sans apport nutritionnel de glucose), on constate un déséquilibre entre la capacité maximale de la PHG et la consommation par les muscles, ce qui entraîne une baisse modérée de la glycémie et, dans certains cas, une hypoglycémie nette. Malgré la stimulation de voies métaboliques importantes, la biodisponibilité en glucides constitue un facteur limitant majeur au maintien de l'exercice physique. C'est pourquoi le meilleur moyen d'optimiser la performance est d'augmenter le niveau des apports glucidiques alimentaires.

La majorité des études s'accorde pour démontrer un effet net de l'apport glucidique pendant l'exercice musculaire sur la performance. Un apport continu de substrat glucidique pendant un exercice à 70 % de $\dot{V}O_2$ max mené jusqu'à l'épuisement permet d'augmenter de près d'une heure le temps de maintien de l'épreuve (figure 17.6) [14]. Cette action ergogénique de l'apport de glucose s'explique par une augmentation de l'oxydation du glucose apporté en remplacement des substrats endogènes. On ne constate par d'épargne du glycogène musculaire. Ces travaux soulignent donc l'intérêt sans équivoque de l'apport de nutriments glucidiques pendant l'effort. La nature, le volume et la séquence d'administration des glucides pendant l'effort sont conditionnés par la physiologie de leur vidange gastrique, leur vitesse de métabolisation et surtout leur tolérance digestive.

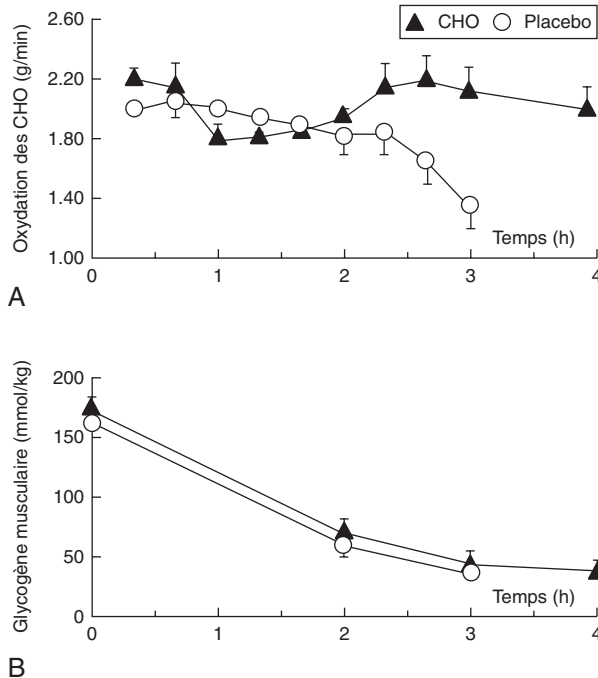


Figure 17.5. Glycémie (A) et insulïnémie (B) avant et pendant un exercice de 2 heures, après l'ingestion de glucose (glucide à fort IG) ou de spaghetti (glucides à faible IG) une heure avant le début de l'exercice, d'après Guezennec [16]. À noter la faible réaction insulïnique et les faibles variations de glycémie après l'ingestion de spaghetti.

Modalités d'apport glucidique pendant les épreuves sportives, le couple sucre-eau

Le moyen le plus efficace de réaliser un apport régulier et continu en glucides, c'est d'utiliser l'eau comme un vecteur d'apport. On en arrive ainsi à la notion que les boissons recommandées pendant l'exercice répondent à deux objectifs majeurs : le maintien de l'équilibre hydrominéral et l'apport énergétique.

La disponibilité des sucres ingérés dépend de leur vitesse d'apparition dans le compartiment sanguin. L'étape limitante qui exerce une influence déterminante sur l'absorption des glucides (au niveau du tube digestif) est la vidange gastrique. L'estomac joue le rôle d'un régulateur de l'apport de calories et de liquide. La vidange gastrique de la boisson est conditionnée par le volume ingéré (et la pression qui en résulte au niveau pylorique), mais aussi par sa densité calorique, son osmolarité et son acidité. La vidange gastrique est une étape cruciale qui détermine la vitesse du remplacement des liquides de l'organisme perdus par la sueur et l'apport concomitant de nutriments [23].

La vitesse de vidange gastrique augmente avec le volume de boisson ingérée. On remarque cependant, au cours du temps, un accroissement de la sensation de pesanteur abdominale, ce qui a permis de définir un débit maximal d'ingestion de boisson qui peut être estimé approximativement à

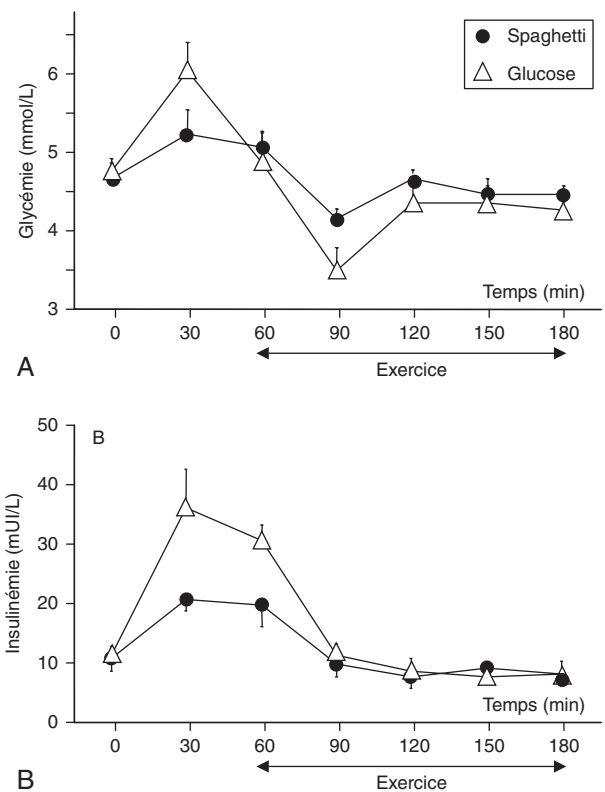


Figure 17.6. Apport de 0,2 g par kg de poids corporel de glucides (CHO) toutes les 20 min au cours d'un exercice prolongé à puissance constante, d'après Coyle [14]. On constate que l'apport régulier en CHO permet de maintenir l'exercice 1 heure de plus que lorsque les sujets reçoivent un placebo (A); malgré cette amélioration nette des performances, le débit d'utilisation du glycogène musculaire n'est pas affecté (B).