

# ALIMENTATION DU SPORTIF

Charles Yannick Guezennec  
IMASSA, CERMA Département de physiologie BP 73  
91223 Breigny s/ Orge

## Introduction

Le problème majeur posé par la nutrition des sportifs résulte de l'augmentation de la dépense énergétique. Le besoin énergétique d'un adulte sédentaire se situe entre 2000 et 2800 Kcal par 24 Heures. Un entraînement physique quotidien peut augmenter cette dépense de 500 à 1000 Kcal par heure d'entraînement. La première question consiste donc à définir le besoin calorique par type d'activité. La deuxième interrogation sera de savoir si les besoins en macro et micronutriments sont couverts par l'augmentation des apports caloriques. Enfin, il faudra envisager dans quelle mesure ces deux éléments, concernant la nature des apports, conditionnent la performance.

## L'apport d'énergie au muscle et les voies métaboliques de l'effort

Les substrats énergétiques nécessaires pour l'exercice musculaire sont stockés dans le foie, le muscle et les adipocytes. Ils sont représentés par les réserves en hydrates de carbone sous forme de glycogène dans le foie et le muscle, et sous forme de glucose dans le sang. Les réserves lipidiques sont stockées dans le tissu adipeux et les muscles, les réserves protéiques sont principalement stockées dans le muscle. Leur niveau d'utilisation et le choix du type de substrat dépend du type d'activité musculaire. On distingue les activités physiques très courtes et intenses qui sollicitent principalement les réserves intramusculaires, et les activités prolongées qui sollicitent l'ensemble des réserves énergétiques. La description du rôle des différentes voies métaboliques dans le cadre de l'exercice musculaire repose sur deux notions essentielles qui sont la puissance et la capacité. La puissance définit la puissance maximale qui résulte d'une voie métabolique donnée alors que la capacité correspond à la totalité de l'énergie qui peut être mobilisée. On distingue deux types de voies métaboliques, d'une part celles qui libèrent l'énergie contenue dans les réserves énergétiques sans consommation d'oxygène, il s'agit du métabolisme anaérobie, d'autre part celles qui utilisent l'oxygène, il s'agit du métabolisme aérobie.

## Métabolisme anaérobie

Le métabolisme anaérobie utilise deux voies métaboliques selon la durée de l'exercice. Pour les exercices très courts et intenses, l'organisme met en jeu le métabolisme anaérobie alactique qui consiste à utiliser exclusivement les réserves intramusculaires sans consommation d'oxygène, les substrats énergétiques utilisés sont l'ATP et la phosphocréatine qui sont la seule source de substrat pour les efforts intenses d'une durée inférieure à quelques dizaines de secondes. La quantité d'énergie fournie peut atteindre une valeur de 250 Kcal par min pendant 7 à 10 sec chez des athlètes entraînés dans des sports de forte vitesse comme le sprint. Sa capacité est faible, elle ne dépasse pas en théorie 100 Kcal mobilisables pour un homme de 70 Kg. L'entraînement, qui développe la masse musculaire et augmente la concentration des réserves musculaires, augmente la capacité du processus anaérobie alactique. Lorsque l'effort dépasse cette durée d'une dizaine de secondes, le muscle met en action le métabolisme anaérobie lactique, qui consiste à métaboliser le glycogène musculaire par voie anaérobie, dans la voie de la glycolyse. Cette voie métabolique qui aboutit à la

production d'acide lactique est capable de produire 120 à 130 Kcal par min chez des athlètes entraînés à ce type d'effort. Ainsi par exemple, un coureur à pied réalisant une course de 400 mètres en 44 sec, ce qui représente le meilleur niveau mondial, dépense 90 Kcal., le facteur limitant de ce type d'exercice maximal dans le domaine du métabolisme anaérobie lactique n'est pas l'épuisement du glycogène mais l'augmentation rapide de l'acidose musculaire, résultant de la glycolyse, qui bloque les voies métaboliques.

#### Le métabolisme aérobie

Les efforts plus prolongés utilisent essentiellement le métabolisme aérobie, cette voie consiste à oxyder les différents substrats énergétiques dans des organites particuliers, les mitochondries. Cette voie nécessite un apport important d'oxygène au niveau des muscles. Cet apport est le principal facteur limitant la puissance de ce métabolisme. La mesure de la consommation maximale d'oxygène ( $\text{VO}_2\text{max}$ ) d'un sujet permet d'évaluer sa capacité maximale de travail musculaire pour des efforts d'une durée supérieure à 3 minutes. Les substrats glucidiques et lipidiques couvrent la majorité des dépenses pour ce métabolisme aérobie, l'oxydation des acides aminés est quantitativement moins importante. Les facteurs limitants de la performance sont l'épuisement des réserves glycogéniques qui survient entre 90 et 120 min à 75% du  $\text{VO}_2\text{max}$ . L'épuisement du glycogène musculaire est responsable d'une fatigue locale musculaire. Il existe une relation entre l'épuisement du glycogène et la diminution de la capacité à produire un exercice physique de niveau élevé.

La libération de glucose hépatique augmente progressivement au cours de l'exercice musculaire et lors d'un exercice intense, le débit peut être de 4 à 5 fois supérieur au débit de repos. Ce glucose hépatique apparaît dans le sang qui le transporte vers les cellules musculaires où il sera oxydé en même temps que le glycogène musculaire. Deux voies métaboliques contribuent à la production de glucose hépatique : la glycogénolyse et la néoglucogénèse. La première dépend exclusivement du glycogène hépatique alors que la seconde utilise d'autres substrats afin de produire du glucose. Leur contribution relative dépend de l'intensité et de la durée de l'exercice. En début d'exercice, la glycogénolyse est la voie prépondérante. Lorsque l'exercice est très prolongé, le glycogène hépatique s'épuise et la néoglucogénèse remplace progressivement la glycogénolyse hépatique et assure la presque totalité de la production de glucose lorsque l'exercice physique dépasse 3 ou 4 heures ; 20 g de glycogène sont utilisés par kilogramme de foie lors d'un exercice à 70 % du  $\text{VO}_2\text{max}$ .

Dans la mesure où la concentration moyenne de glycogène hépatique se situe à  $50 \text{ g.kg}^{-1}$  chez l'homme, ce type d'exercice conduit à l'épuisement du glycogène hépatique en deux heures.

Lors de la diminution et de l'épuisement du glycogène hépatique, la stimulation progressive de la néoglucogénèse représente la seule possibilité de maintenir la production de glucose.

Lors de l'exercice prolongé, on constate un déséquilibre entre la capacité maximale de la néoglucogénèse et la consommation par les muscles entraînant une baisse modérée de la glycémie et, dans certains cas, une hypoglycémie nette. L'ensemble de ces données métaboliques tendrait à indiquer que la diminution importante du glycogène hépatique, de par ses conséquences sur la glycémie, serait le principal facteur de l'épuisement. Ceci peut être modulé en fonction de l'intensité de l'exercice, l'épuisement du glycogène musculaire étant certainement un facteur limitant de la poursuite de l'exercice au-dessus de 70 % du  $\text{VO}_2\text{max}$ . Pour des exercices de faible intensité et de très longue durée (course de 100 km, triathlon long, marche de fond...), l'utilisation des lipides permet en partie de suppléer à la diminution des réserves en hydrates de carbone. La capacité de mobilisation et d'utilisation des acides gras libres circulants (AGL) est essentielle lors de l'exercice physique de longue durée.

Ils remplacent les substrats glucidiques dans le métabolisme musculaire. Ainsi le pourcentage de l'énergie fournie par l'oxydation des lipides augmente en fonction de la durée de l'effort.

Pour une durée de course de 30 minutes, le pourcentage est de 10 %, il passe à 30 % pour 2 heures, et dépasse 60 % au-delà de 3 h 30. Une partie des lipides utilisés lors de l'exercice musculaire provient des triglycérides stockés dans le muscle, ils sont métabolisés en premier lieu, l'autre partie provient des lipides du tissu adipeux et des lipides du sang. En dernier lieu, il faut évoquer l'incorporation des acides aminés dans le métabolisme aérobie. Le métabolisme protéique est principalement mis en jeu par le biais de l'oxydation des acides aminés branchés (leucine, isoleucine, valine). L'oxydation de la leucine augmente en fonction de l'intensité de l'exercice; à peu près 900 mg de leucine sont oxydés pendant 2h d'exercice à 50 % du  $\text{VO}_2$  max. alanine-glucose. D'autres aminoacides sont oxydés pendant l'exercice musculaire. Certains acides aminés sont incorporés dans la néoglucogénèse afin de produire du glucose qui sera ultérieurement utilisé par le muscle. La contribution des aminoacides oxydés dans le métabolisme énergétique de l'exercice physique prolongé est de 5 à 10 % de la production totale d'énergie.

Méthode de mesure et niveau des dépenses énergétiques liées à l'activité physique

Le niveau d'activité physique est le facteur le plus important pouvant affecter la dépense énergétique. Il est susceptible de multiplier par 8 ou 10 le métabolisme basal. Concernant la pratique sportive, ce sont les sports d'endurance qui imposent la plus haute dépense énergétique. Les coureurs de fond, les cyclistes professionnels, les skieurs de fond, dépensent entre 4 500 et 5 000 Kcal par 24 heures en période d'entraînement. Lors de compétitions de longue durée comme une course à pied de 100 km, un triathlon de longue distance, une course cycliste du type de Paris-Bordeaux, la dépense peut atteindre entre 8 000 et 12 000 Kcal par 24 heures. Lors d'épreuves sportives par étapes s'étalant sur plusieurs jours, la dépense quotidienne s'échelonne entre 6 000 et 7 000 Kcal par jour. Ces chiffres extrêmes ne sont retrouvés que dans une petite catégorie de sportifs. Des athlètes pratiquant le demi-fond ou le sprint et s'entraînant quotidiennement ont un surcoût de dépense énergétique lié à l'entraînement de 800 à 1 000 Kcal par 24 H, ce qui représente une dépense totale de 3 200 à 3 500 Kcal par 24 H.

La pratique sportive de loisir est en moyenne de 2 à 3 séances par semaine, si nous prenons pour exemple celui d'un sujet réalisant 3 séances de course à pied de 10 km à 10 km/H : la dépense sera entre 600 et 800 Kcal par séance selon le poids du sujet, ce qui représente une dépense entre 1 800 et 2 400 Kcal par semaine.

Apports caloriques des sportifs

Les enquêtes alimentaires constituent un moyen efficace pour évaluer le niveau des apports énergétiques selon le type de sport. Les résultats de ces études mettent en évidence une grande dispersion des valeurs obtenues par type de sport, les extrêmes s'échelonnant de 10.000 Kcal par jour chez des joueurs de football américain à moins de 1500 Kcal par jour chez des sportifs se soumettant à des régimes hypocaloriques afin de perdre du poids.

Des études réalisées sur des athlètes soumis à un état stable d'entraînement indiquent une bonne compensation au jour le jour des pertes caloriques résultantes du travail physique, ainsi un entraînement bien supporté permet un ajustement de la balance énergétique ce qui se traduit en pratique par une stabilité pondérale. Une des conséquences du surentraînement et de la fatigue est une insuffisance de l'apport calorique par rapport aux besoins, la perte de poids est un signe précoce du surentraînement.

En dehors du problème de l'adaptation spontanée de l'appétit, certains sports imposent une maîtrise drastique du poids. On peut classer les sports à risque de sous nutrition selon 4 critères : les sports nécessitant de conserver en permanence un poids faible tel que la gymnastique ; les courses hippiques ; les sports où l'athlète doit faire le poids uniquement pour les compétitions, essentiellement les sports de combat ; les sports imposant une

réduction des graisses corporelles pour des raisons d'esthétique tels que le body building ou la danse classique. Enfin, il faut évoquer les sports où les conditions imposent une réduction des apports en raison des difficultés d'environnement comme la montagne, la voile hauturière, les raids aventures. Les régimes hypocaloriques administrés sur de courtes périodes, inférieures à 3 semaines, lors d'une période normale d'entraînement, situation type des sports de combat, affectent peu la performance en endurance, par contre une réduction des apports caloriques associée à une période d'effort soutenu, telle que rencontrée lors de raids en montagne, diminue de façon importante la capacité d'endurance. En pratique, le nutritionniste appelé à suivre des athlètes pourra contrôler l'adéquation entre apport calorique et niveau d'entraînement par trois moyens : un questionnaire alimentaire comparé à une grille d'activité, la mesure de la masse grasse, et de façon plus simple par une surveillance de la courbe de poids.

#### Apports alimentaires qualitatifs chez les sportifs

La méthode des enquêtes alimentaires a permis de recueillir depuis plusieurs années l'évolution des habitudes alimentaires de la population sportive française. Les résultats font apparaître le fait que la répartition des apports des sportifs ne diffère pas de celle de la population générale. Comparée aux recommandations admises, on constate un excès systématique des apports lipidiques, qui se situent selon les enquêtes entre 35 et 39% de l'apport total, avec une insuffisance de la part glucidique (de 42 à 48%), seule la part protéique entre 15 et 18% est au niveau des apports conseillés.

#### Les déterminants du besoin glucidique chez le sportif

De nombreux travaux ont mis en évidence le rôle déterminant des glucides, 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. Ces données expliquent l'augmentation du besoin en nutriments glucidiques chez les sportifs. La physiologie du métabolisme du glycogène permet de comprendre le rôle des nutriments glucidiques sur la performance. Une part importante des substrats énergétiques utilisés lors de l'entraînement ou de la compétition provient du glycogène musculaire ou hépatique. Un athlète qui s'entraîne 2 à 3 heures par jour dans un sport d'endurance dépense en moyenne 2000 Kcal, on estime qu'il utilise de 600 à 700 Kcal de glucides. Dans ces conditions, il doit recevoir la même quantité d'hydrates de carbone alimentaires, ce qui représente de 55 à 60% de l'apport calorique total en glucides. Le fait de maintenir en permanence un apport autour de 60% en glucides permet une synthèse complète du glycogène musculaire lors d'un entraînement quotidien. La nécessité d'une ration riche en glucides amène à envisager les modalités de leur apport. Une part importante doit provenir des constituants des trois principaux repas, une autre partie dont le rôle est majeur sur la tolérance à un entraînement intense doit être ingérée avant et après les séances d'entraînement. En théorie, il est préférable d'utiliser avant l'exercice physique des hydrates de carbone faiblement insulino sécréteurs afin d'éviter une hypoglycémie en début d'effort. Ce phénomène peut se produire mais sa fréquence et ses conséquences ont été largement surestimés. A l'issue de l'entraînement, il est utile d'absorber des sucres dits rapides, les mécanismes adaptatifs font que la resynthèse des réserves glycogéniques est très rapide dans la phase de récupération précoce ; de plus la stimulation de la libération d'insuline favorise fortement cette resynthèse. Quels hydrates de carbone préconiser ? Dans le cadre des principaux repas, il faut conseiller la consommation quotidienne de pâtes alimentaires, lentilles, pommes de terre. Il faut conseiller une consommation importante de pain et de produits de panification. Le petit déjeuner à la française, tant décrié par ailleurs, est un repas idéal pour un début de journée sportive car il

fournit les substrats glucidiques pour la resynthèse du glycogène hépatique après une nuit de jeûne. Quelle place attribuer aux aliments de l'effort dans le cadre de l'alimentation quotidienne du sportif ? Ils représentent une forme d'apport glucidique facilement utilisable avant, pendant et après l'entraînement. Les barres énergétiques sont à conseiller avant l'effort, les solutions glucidiques doivent être utilisées pendant l'entraînement surtout si sa durée dépasse 1 heure et immédiatement après, elles offrent l'intérêt d'assurer dans le même temps la réhydratation et l'apport calorique. Les boissons glucidiques sont souvent composées d'un mélange de fructose et de glucose. Le glucose est directement métabolisable par les muscles, il favorise, pendant la période de récupération, la resynthèse du glycogène musculaire. Le fructose est principalement métabolisé au niveau hépatique, il participe à la resynthèse du glycogène hépatique.

#### Le besoin en lipides

Les enquêtes alimentaires indiquent une prise alimentaire spontanée de lipides exprimée en pourcentage de la ration calorique totale identique chez le sportif et le sédentaire. Cette part des lipides, dans l'apport énergétique total, est élevée au regard des apports recommandés, il n'y a donc aucune raison de l'augmenter chez les sujets sportifs. Lors d'exercices très prolongés, les lipides deviennent des substrats énergétiques prépondérants. Ceci conduit donc à se poser la question du rôle éventuel d'une alimentation hyperlipidique sur la capacité à réaliser ce type d'effort. Ce point a fait l'objet de nombreuses études qui ne mettent pas en évidence un intérêt de ce type de nutrition. En effet, la majorité des études menées sur l'homme, ne montrent pas d'effet significatif de l'alimentation enrichie en lipides, sur la performance lors d'efforts prolongés. Ce point peut s'expliquer en partie par le fait que les lipides absorbés avant ou pendant l'exercice musculaire ne sont pratiquement pas utilisés comme carburant énergétique. Seules les graisses endogènes, déjà stockées dans le muscle ou le tissu adipeux sont utilisées comme substrat énergétique. Il faut cependant mentionner le fait qu'une catégorie particulière de lipides constitués d'acides gras à chaîne courte ou moyenne est disponible pour être utilisée comme carburant pendant l'effort. Mais ces constituants des lipides sont présents en faible quantité dans l'alimentation normale, ce type de lipides ne représente qu'une part faible des graisses alimentaires. Par ailleurs, un point particulier de l'alimentation mérite une attention particulière, il concerne le niveau des apports en acides gras polyinsaturés. Il a été démontré, en dehors de la problématique spécifique de l'exercice musculaire, qu'un enrichissement de la ration dans ce type de lipides pouvait améliorer différents paramètres de la circulation sanguine. Cette action s'exerce aussi lors de l'effort musculaire et il est désormais bien admis qu'un apport suffisant en lipides polyinsaturés est nécessaire chez le sportif. En pratique, les besoins sont couverts si les sujets sportifs consomment plus de 3 à 4 plats de poisson par semaine.

#### Besoins en protéines et entraînement physique

Depuis les travaux de Von Liebig, il est bien établi que le métabolisme des protéines est accru par l'exercice musculaire. On a pu mettre en évidence une négativation de la balance azotée pendant l'exercice musculaire suivie d'une augmentation des synthèses protéiques dans la phase de récupération. Des mesures effectuées lors d'épreuves de très longue durée (course de 100 km ou épreuve de ski de fond de 90 km) ont mis en évidence une utilisation de protéine entre 2,5 et 3,8 gr.h<sup>-1</sup> (guez prot ss). Cette métabolisation des protéines résulte de deux principaux facteurs qui sont, d'une part l'oxydation directe de certains acides aminés dans le muscle, essentiellement les acides aminés branchés, et d'autre part une destruction des protéines cellulaires sous l'effet de l'activation des protéases intramusculaires. Le résultat de l'ensemble de ces mécanismes est une augmentation du catabolisme protéique sous l'effet d'un exercice physique prolongé. A cette phase de catabolisme succède une stimulation de



l'anabolisme protéique. Cette alternance se traduit sur de longues périodes par un gain net de protéines musculaires, quel que soit le type d'entraînement suivi, il augmente à des degrés divers la masse musculaire. De nombreux travaux se sont attachés à décrire les mécanismes responsables. Le rôle mécanique de la contraction musculaire semble prépondérant, le simple fait d'étirer en permanence une fibre musculaire isolée augmente les synthèses protéiques ; ensuite, vient le facteur nerveux qui joue à la fois par la stimulation de la contraction et par des facteurs neurotrophiques. Les hormones anabolisantes et la nutrition protéique sont moins importantes, elle favorisent l'action des précédents facteurs. Cette hiérarchie a une conséquence fonctionnelle en nutrition du sport, un apport optimum de protéine est nécessaire pour obtenir un accroissement de la masse musculaire, mais un excès de protéine est incapable à lui seul de stimuler les synthèses. Il est donc indispensable de définir par type d'activité le besoin en protéines, qui peut être évalué pour des athlètes d'endurance autour de 1,6 gr.kg-1.j-1 alors que les athlètes des sports de force et de vitesse n'ont besoin que de 1,2 gr.kg-1.j-1. L'attitude la plus raisonnable consiste à conseiller un apport de sécurité chez les sportifs de haut niveau et en période d'entraînement intense entre 1,6 et 2 gr.kg-1.j-1 ce qui représente pour un sujet dont la ration quotidienne est de 4000 Kcal une consommation moyenne de 180 gr de protéines par jour.

#### Besoins en vitamines et minéraux

La croyance d'un effet quasiment miraculeux de l'apport de vitamines et de minéraux est fortement ancrée dans l'imaginaire des sportifs. Malheureusement, c'est le domaine où les preuves réelles d'une réelle efficacité sont rares. Le niveau des apports vitaminiques chez les sportifs a été évalué par la méthode des enquêtes, en général le statut vitaminique est au-dessus des minima recommandés, sauf pour les vitamines B1 et B6 qui sont légèrement en dessous des minima. Le dosage des concentrations circulantes confirme un faible statut vitaminique en vitamine B1. Ce phénomène semble s'expliquer par la consommation de quantités importantes de dérivés des céréales raffinées, dans la mesure où l'apport en vitamines B1 et B6 est fourni par les produits céréaliers non raffinés. Malgré cette insuffisance légère par rapport aux normes, la supplémentation vitaminique en vitamines du groupe B ne semble pas capable d'augmenter la performance, il faut se trouver dans une situation de réelle carence pour observer une action négative sur la capacité physique. Beaucoup d'espoirs ont été fondés sur un rôle protecteur des vitamines antioxydantes contre les effets toxiques de la production de radicaux libres pendant l'exercice musculaire. Les résultats de différents travaux récents ne soutiennent pas cette hypothèse. La question des apports vitaminiques peut se résumer à une attitude simple, il faut rechercher d'éventuelles subcarences qui peuvent se produire lors de régimes hypocaloriques et que l'on corrigera par une adaptation de la nutrition. La supplémentation sous forme pharmacologique n'a pas d'intérêt et présente un inconvénient majeure ; elle renforce, chez le sportif, l'idée que les pilules sont le préalable à la performance.

#### Besoins en minéraux

L'exercice physique influence le métabolisme de certains minéraux dans la mesure où il agit sur leur excrétion. L'augmentation du débit sudoral, qui peut être considérable lors de l'exercice musculaire, est une cause d'élimination de plusieurs minéraux. Ce fait amène à considérer avec attention le niveau des apports. Les enquêtes alimentaires précédemment évoquées indiquent, que malgré des apports caloriques élevés, certains minéraux sont à la limite des apports recommandés. Il s'agit du fer, du magnésium, et du calcium. Par ailleurs, certains éléments comme le cuivre ou le zinc ont été proposés comme étant des acteurs de la performance sportive. Deux questions se posent : la première concerne l'impact sur la santé des athlètes, l'autre, leur effet sur la performance.

Concernant le magnésium, il a été démontré que ses taux sanguin et érythrocytaire peuvent varier sous l'effet de l'entraînement et aboutir à des taux légèrement inférieurs à la normale. Cependant, il n'a pas pu être mis en évidence une relation entre ces fluctuations et la performance. Il semble donc peu probable que les faibles variations observées chez l'athlète soit susceptibles d'influencer la performance. Par sécurité, il est conseillé d'augmenter dans la ration la consommation de fruits secs, de chocolat, de légumes secs et d'eaux minérales riches en Mg.

Concernant le fer, l'exercice musculaire peut négativer le bilan du fer par plusieurs mécanismes qui sont : une augmentation des pertes sudorales, une hémolyse induite par les chocs mécaniques et des saignements digestifs. Il en résulte une anémie du sportif qui se constitue essentiellement chez le sportif d'endurance et surtout les femmes. Il faut distinguer deux mécanismes différents qui sont d'une part, une véritable carence en fer consécutive à un défaut d'apport en Fe et une augmentation des pertes, et d'autre part, une dilution des globules rouges du fait de l'augmentation des volumes circulants des sportifs. Dans ce dernier cas, qui est le plus fréquent, il n'y a pas de carence en fer. On a estimé que les pertes en Fe par la sueur, chez des coureurs à pied faisant 125 à 350 km par semaine tout au long de l'année, pouvaient dépasser 1 mg par jour, ce qui n'est pas négligeable. En climat chaud, les pertes en Fe par la sueur seraient supérieures à 2,5 mg par jour. Les pertes de Fe peuvent également provenir de saignements digestifs à l'effort. Nous pouvons donc dire que les athlètes présentant un risque de déficience en Fe sont ceux dont les apports en Fe n'atteignent pas les apports recommandés pour le sujet d'activité normale (femmes sportives essentiellement), ainsi que les coureurs de longue distance qui sont exposés à des pertes en Fe par la sueur et, éventuellement, par les voies gastro-duodénale et urinaire. Concernant l'anémie du sportif par dilution, une supplémentation en Fe ne semble pas justifiée. La meilleure prévention consiste à assurer un apport de viande rouge important, le fer héminique est celui qui a le plus fort taux d'utilisation digestive. Il faut donc convaincre les coureurs de fond que la viande n'est pas toxique contrairement à une idée répandue sans preuves dans le monde du sport.

Les relations entre calcium et sport posent la question de la santé osseuse. Dans la majorité des cas, l'activité physique augmente la densité osseuse par un effet mécanique sur l'os. Cependant, certaines situations sportives peuvent conduire à une déminéralisation, le surentraînement dans les sports d'endurance ou l'association d'un entraînement intense et d'une restriction des apports caloriques. Les sportives peuvent présenter une aménorrhée pour l'une ou l'autre de ces raisons. Les athlètes aménorrhéiques ont une densité osseuse faible. Une enquête réalisée sur un large échantillon de la population sportive révèle que la consommation quotidienne de calcium est largement supérieure à 1 gr par jour dans la plupart des sports sauf dans les sports d'endurance tels que course de fond, cyclisme ou triathlon. En pratique, il faut recommander à ces sportifs de consommer des laitages, surtout en climat chaud, dans la mesure où les pertes sudorales contiennent du calcium.

Sous l'effet d'un exercice physique prolongé, il existe essentiellement des pertes par la sueur (Na, K, Mg, Fe, Cu, Ca...) et par l'urine (Zn, K, Cr). La pratique d'exercices physiques est donc à l'origine d'une augmentation des besoins pour la plupart des éléments minéraux. Concernant les apports en électrolytes pendant et après l'effort, il convient d'adapter les apports en fonction des trois principaux paramètres suivants : la durée de l'effort, son intensité et les conditions climatiques.

Schématiquement, nous distinguerons 3 cas :

1/ pour un effort modéré, de durée inférieure à 2 heures, sous un climat tempéré, aucun apport en électrolytes au cours de l'effort n'est nécessaire. L'alimentation couvre les besoins spécifiques en Na/K pour ce type d'effort,

2/ pour un effort plus intense, de durée comprise entre 2 et 4 heures, dans des conditions climatiques supportables, nous pouvons reprendre les recommandations préconisées par

"l'American College of Sports Medicine" : un apport de Na et de K dans la boisson consommée pendant l'effort (Na : teneur au plus égale à 10 mEq par litre ; K : teneur égale à 5 mEq par litre),

3/ pour un effort intense de durée supérieure à 4 heures sous un climat chaud et humide, nous recommandons un apport d'environ 20 mEq de Na et 5 mEq de K par litre de boisson consommée pendant l'effort. Un apport supplémentaire de K dans la boisson de récupération après l'effort doit aussi être envisagé (5 à 10 mEq de K par litre). Le Na et le K peuvent être apportés par exemple sous forme d'un mélange de chlorures et de bicarbonates.

Concernant les apports alimentaires quotidiens en minéraux et oligoéléments, un apport compris entre 100% et 150% des apports recommandés pour le non sportif, devrait être fourni au sportif.

La hauteur de cet apport est à moduler en fonction de la charge d'entraînement quotidien ainsi qu'en fonction de l'importance de la sudation. Un tel apport devrait être réalisé sans difficulté chez les sportifs consommant plus de 3000 kcal par jour. En revanche, dans le cadre d'une alimentation apportant moins de 3000 kcal par jour et plus précisément en-dessous de 2500 kcal par jour, atteindre cet apport devient difficile pour un certain nombre de minéraux et oligoéléments. Dans ce cas, sachant qu'il est impossible d'augmenter les apports énergétiques tout en maintenant un équilibre pondéral et qu'une supplémentation médicamenteuse risque d'être mal interprétée par le sportif, il semble raisonnable de recommander la prise de complément minéral sous forme d'aliments liquides ou solides pour sportifs insérés dans la ration normale.

#### Besoin hydrique des sportifs

Le besoin hydrique quotidien résulte de l'équilibre entre les pertes et les apports. Il existe trois mécanismes réglant le niveau des pertes qui sont l'élimination rénale, les pertes respiratoires et la sudation. Les pertes respiratoires sont relativement faibles. Les pertes sudorales sont les plus importantes et extrêmement variables selon la contrainte thermique. Les pertes rénales ont pour principale fonction de maintenir l'équilibre hydrique de l'organisme en ajustant les pertes aux apports liquidiens. L'exercice physique et la contrainte thermique en climat chaud augmentent considérablement les pertes. Afin de fixer la limite supérieure de ce domaine, on peut citer le fait qu'un travail intense en climat désertique chaud peut créer un besoin de 15 à 20 litres d'eau par 24 heures. La perte d'eau résultant d'une heure d'exercice intense en climat tempéré se situe entre 1 litre et 1.5 litre. La sueur représente 90% de cette perte hydrique, les pertes respiratoires 8% et les pertes rénales 2%.

Cependant le principal moyen permettant d'évacuer la chaleur produite par l'exercice musculaire est la sudation. L'évaporation de 1 litre de sueur à la surface de la peau permet d'évacuer 580 Kcal. Le débit sudoral dépend bien sûr des conditions climatiques et de l'intensité de l'exercice, mais aussi du niveau d'entraînement, et de l'acclimatation du sujet. Ce débit sudoral est responsable d'une perte hydrique qui sera prévisible en connaissant le niveau de travail musculaire et l'ambiance thermique. En climat tempéré, on peut estimer le besoin hydrique pour un adulte de 70 kg à :



Activité	Dépense/heure	Besoin approximatif en eau
Marche lente	180 Kcal	200
Marche rapide	300 Kcal	350
Equitation	350 Kcal	400
Natation loisir	400 Kcal	500
Tennis loisir	450 Kcal	500
Ski loisir	450 Kcal	500
Football entraînement	500 Kcal	600
Marche en montagne avec sac à dos	500 Kcal	600
Tennis compétition	600 Kcal	750
Natation compétition	700 Kcal	800
Course à 10 Km/h	700 Kcal	800
Vélo à 35 Km/h	800 Kcal	1000
Course à 15 Km/h	1000 Kcal	1200

Besoins en eau en litres par heure pour différentes ambiances et par type d'activité

Niveau d'activité	23°C 50% humidité	23° 100% humidité	30° 50% humidité	40° 100% humidité
Léger : travail assis	0.75	0.2	0.3	0.5
Modéré : marche	0.25	0.6	1	1.5
Intense : course 15 Km/h	1.2	2	3	impossible

Conséquences d'une hydratation insuffisante

Lorsque les pertes hydriques sont supérieures aux apports, il en résulte plusieurs conséquences qui s'enchaînent. La première est la diminution des volumes liquidiens circulants ou hypovolémie. L'hypovolémie d'exercice a des conséquences sur l'ensemble des facteurs physiologiques assurant la thermolyse. Lors de l'exercice de longue durée, réalisé sans apport hydrique, une hypovolémie progressive s'installe et peut atteindre 4% à la troisième heure, la sueur étant hypo-osmolaire par rapport au plasma, la déshydratation d'exercice va avoir, entre autres conséquences, l'installation d'un état d'hypovolémie hyperosmolaire.

Cette hypovolémie a une influence sur le système cardio-vasculaire: afin de maintenir un débit sanguin musculaire adapté à l'intensité de l'exercice, il se produit une augmentation progressive de la fréquence cardiaque malgré un niveau d'effort stable. Cette réaction a pour but de maintenir un débit cardiaque constant en dépit d'une réduction des volumes circulants. Ce phénomène va être responsable d'une apparition plus précoce de la fatigue.

Une autre conséquence de l'hypovolémie est la réduction du débit sudoral et du débit sanguin cutané. Ceci a pour conséquence de limiter considérablement l'efficacité des processus de thermolyse. Associé à la chaleur métabolique, ce phénomène majore l'augmentation de température centrale. L'hyperthermie qui en résulte est à l'origine d'une altération importante des performances et de l'arrêt prématuré de l'exercice.

Il est donc essentiel de restaurer au mieux les pertes liquidiennes liées à la sudation. Les objectifs poursuivis par la réhydratation au cours de l'exercice peuvent être interprétés de la manière suivante : le remplacement le plus rapidement possible des pertes liquidiennes, dans le but de préserver un débit sudoral suffisant pour assurer une thermolyse efficace et équilibrer le bilan thermique ; ainsi que le maintien de la stabilité du débit cardiaque et de la performance de la pompe cardiaque.

Le remplacement des fluides au cours de l'exercice

Le problème majeur posé par la réhydratation au cours de l'exercice musculaire est celui de la vitesse à laquelle les pertes sudorales seront remplacées. La vitesse de remplacement des liquides de l'organisme dépend à la fois :

- du volume des apports liquidiens,
- de la vitesse de vidange gastrique,
- et du niveau d'absorption intestinale des fluides.

Apports liquidiens spontanés

Au cours de l'exercice, les apports spontanés en boisson sous l'effet de la soif ne permettent de remplacer, dans les meilleurs des cas, que 80% des pertes hydriques. Lorsque le niveau d'hydratation est laissé libre malgré la parfaite disponibilité en boissons, il est classique d'enregistrer des niveaux de déshydratation volontaires variant de 2 à 6% du poids corporel. Des mesures simples permettent d'estimer que la plupart des athlètes participant à des épreuves de longue durée (course de longue distance, cyclisme, triathlon), perdent de 2 à 3 kg de leur poids corporel, cette perte pondérale représente presque totalement la perte en eau. Il est donc important d'encourager l'apport volontaire en boissons, sans attendre l'apparition de la soif et d'améliorer la palatabilité des boissons. Cet apport doit être adapté aux pertes prévisibles ; pour fixer les idées, on peut dire qu'il faut un apport de 300 à 500 ml par heure d'effort intense en climat tempéré pour maintenir la performance physique. Le caractère agréable des boissons de l'effort peut être amélioré par leur température et leur goût. Pendant la récupération d'un exercice de longue durée, l'apport hydrique est amélioré par l'ingestion de boissons dont la température avoisine 15°C. De même, au cours d'un exercice réalisé en ambiance chaude, la consommation spontanée de boissons à 15°C est de 32 à 43% supérieure à celle d'une boisson maintenue à température ambiante. De plus, l'aromatisation des boissons de l'effort favorise le volume des boissons spontanément absorbées.

Plusieurs conséquences pathologiques peuvent résulter d'une mauvaise hydratation. Elle s'échelonnent selon une échelle de gravité. Le plus grave est le coup de chaleur d'exercice. Cet accident est gravissime puisqu'il y a peu de temps encore, il conduisait à la mort dans presque 50% des cas. A son origine, il y a certes un exercice musculaire trop intense en climat chaud mais aussi pratiquement toujours une hydratation insuffisante comme facteur associé. Moins grave, la déshydratation chronique en période chaude est responsable de fatigue. Cette fatigue se manifeste aussi bien chez le sujet soumis à un travail modéré que chez l'athlète entraîné. La déshydratation est aussi responsable chez le sportif de troubles digestifs intestinaux.

Principes pratiques d'une alimentation avant une épreuve de longue durée

Alimentation la veille et le jour de l'épreuve

Dans cette phase de la préparation alimentaire, les buts seront de maintenir les réserves glycogéniques au plus haut niveau.

La poursuite du régime hyperglucidique s'effectue par la traditionnelle « spaghettis partie ». Le soir précédant l'épreuve, 150 à 200 g de pâtes alimentaires seront consommées en évitant scrupuleusement les sauces relevées. Le jour de l'épreuve l'apport des calories glucidiques se poursuit jusqu'au moment du départ. Le problème majeur réside dans le choix du type de glucides. Durant cette période, on peut opposer les glucides dits rapides aux glucides lents. Les glucides rapides stimulent la libération d'insuline lorsqu'ils sont absorbés en grande quantité et près du départ de l'épreuve, ils peuvent induire des hypoglycémies importantes en début d'exercice musculaire. Les sucres simples tels que le glucose ont un fort pouvoir osmolaire en solution, cette propriété ralentit l'évacuation des liquides et perturbe l'hydratation, par ailleurs elle est responsable de douleurs digestives. Ces éléments poussent à choisir les hydrates de carbone lents dans les heures précédant l'épreuve. Après un petit déjeuner à la française enrichi par des céréales, l'apport glucidique avant les 3 heures précédant l'épreuve sera assuré par la consommation de riz ou de pâtes alimentaires. Le plan d'hydratation débute aussi le matin de l'épreuve, elle se fera avec de l'eau, la quantité absorbée dépend essentiellement des conditions climatiques. En climat tempéré, il faut absorber autour de 1.5 litre d'eau dans les 3 heures précédant l'épreuve.

Cette préparation des dernières heures doit amener sur la ligne de départ un sujet présentant un état métabolique de sujet nourri avec des réserves de glycogène hépatique à leur plus haut niveau, un capital hydrique élevé, sans que ce plan alimentaire soit source d'un inconfort digestif pendant l'épreuve.

#### Alimentation pendant l'épreuve

L'apport concomitant d'eau et de nutriment glucidique est la meilleure forme d'apport alimentaire pour des efforts de plus de 90 minutes et inférieurs à 5 heures. En dessous de cette durée d'effort, l'apport d'eau seule est suffisant pour maintenir la performance. Au-delà de 5 heures d'effort, il est utile de prévoir une alimentation solide, sous forme de barre énergétique. L'alimentation sous forme de soluté glucidique doit respecter une règle, la concentration des nutriments glucidiques ne doit pas dépasser 10% de l'apport pondéral de l'eau, ce qui représente un maximum de 100 gr de glucose par litre d'eau. Si l'on tient compte d'un apport moyen de 500 ml d'eau par heure d'effort en climat tempéré, on constate que l'apport de glucose sera de 50 gr ou de 200 Kcal. Cette valeur est un maximum et l'on obtient un maintien des performances pour des valeurs moindres. La disponibilité de cet apport est meilleur si il est fractionné en plusieurs prises.