



CLUB DES  
CARDIOLOGUES  
DU SPORT

## NUTRITION ET PERFORMANCE SPORTIVE

*Avec la revue*

# Cardio

N° 16 - Septembre 2008

# & Sport

LA REVUE PRATIQUE DE LA CARDIOLOGIE DE L'EFFORT



**ÉVÈNEMENT**  
**Une femme chirurgien cardiaque sur l'Everest !**  
Entretien avec Nadine Laborde

**ENTRAÎNEMENT**  
**La fréquence cardiaque**  
Garde-fou des intensités d'exercice ?

**ANALYSE D'ARTICLE**  
**Arrêt de l'entraînement**  
Que devient le cœur d'athlète ?

**PRATIQUE**  
**Apnée**  
Fréquence cardiaque chez le paraplégique

**THÉRAPEUTIQUE**  
**Acétazolamide**  
Prise en charge des maladies aiguës d'altitude

**CAS CLINIQUE**  
**Transposition corrigée des gros vaisseaux**  
Cas du basket

**Dossier** ▶

**NUTRITION ET PERFORMANCE SPORTIVE**  
Des besoins souvent mal respectés !

- Les besoins énergétiques du sportif
- Les substrats énergétiques : glucides et lipides
- Les matériaux énergétiques : protéines et micronutriments



## NUTRITION ET PERFORMANCE SPORTIVE

### Des besoins souvent mal respectés

Dr Jean-Frédéric Brun (ER125, Inserm, Muscle et Pathologies, Service de Physiologie Clinique, Centre d'Exploration et de Réadaptation des Anomalies du Métabolisme Musculaire (CERAMM), CHU de Montpellier)

- Introduction** **p.10**
- 1 Les besoins énergétiques du sportif** **p.11**
- 2 Les substrats énergétiques : glucides et lipides** **p.14**
- 3 Les matériaux énergétiques : protéines et micronutriments** **p.19**

#### Mots clés

Exercice, Nutrition, Glucides, Protides, Hypoglycémie, Hydratation

## Introduction



©Yuri Arcurs - Fotolia

Depuis un quart de siècle, la pertinence du concept de “nutrition du sportif” a été bien démontrée. L’activité sportive intense correspond bien à des besoins spécifiques en calories, en macronutriments et, sans doute aussi, en micronutriments. Le non-respect de ces spécificités est une cause fréquente de contre-performance. Cependant, dans un milieu tel que celui du sport, le sensationnel et l’irrationnel ont souvent tendance à prendre le pas sur l’objectivité scientifique, ou même le simple bon sens. Le développement exponentiel des “produits miracles” d’origine plus que douteuse, qui circulent dans les salles de sports et les vestiaires, ou s’achètent sur Internet, illustre bien cette dualité.

Pour savoir ce qu’il est raisonnable de penser en matière de nutrition du sport, il y a tout de même une littérature scientifique rigoureuse, parue dans des revues scientifiques internationales. Cette littérature est assez foisonnante et agite de nombreux concepts, souvent très intéressants, mais qu’il faut envisager avec un peu de recul. Toute une série de travaux réalisés par les physiologistes des centres de recherche des armées (notamment en France et aux USA) me paraît mériter, dans ce cadre, une attention particulière.

Il y a également les consensus des sociétés savantes nord-américaines (1) qui, tout en incitant à la plus grande prudence vis-à-vis des adjuvants à visée ergogénique en général insuffisamment connus, ont permis de mettre l’accent sur une série de vérités qui paraissent importantes.

Dr Jean-Frédéric Brun

## 1

## BESOINS ÉNERGÉTIQUES

## du sportif

Dr Jean-Frédéric Brun (ER125, Inserm, Muscle et Pathologies, Service de Physiologie Clinique, Centre d'Exploration et de Réadaptation des Anomalies du Métabolisme Musculaire (CERAMM), CHU de Montpellier)

### > La ration calorique globale

Le premier problème à considérer est celui des besoins énergétiques. Pendant des périodes d'activité physique élevée, il est évident que ces besoins sont accrus. Le tableau 1 rappelle les besoins de base d'un individu non sportif et le tableau 2, tiré de traités classiques de médecine du sport, permet de se faire une idée (assez approximative) de cet accroissement. Il existe, actuellement, des techniques permettant de chiffrer de façon plus fine ces dépenses, notamment en nutrition humaine. Elles sont basées sur la quantification de tous les mouvements et restent peu utilisées en médecine sportive. Leur développement chez certains sportifs dont l'équilibre énergétique est aléatoire pourrait être intéressant.

### Une stabilité pondérale nécessaire

Pour compenser cette perte accrue d'énergie, il faut à l'évidence augmenter les apports caloriques, de manière à maintenir le poids corporel. Le document de consensus américain insiste sur cette nécessité de stabilité pondérale et condamne ainsi fermement les pratiques visant à changer rapidement de poids (*daily weight-ins*). Selon ce document, chez les sportifs, **une perte de poids liée à une balance énergétique négative occasionne des réductions de masse musculaire, des troubles du cycle menstruel chez la**

**femme, une diminution de densité osseuse et une baisse de forme liée à la fatigue, s'accompagnant d'un affaiblissement des défenses immunitaires (1).**

### La masse grasse du sportif

Les sportifs présentent, en général, un moindre pourcentage de graisse corporelle, mais il est difficile de définir des normes, qui dépendent beaucoup du type de sport. Dans l'ensemble, alors qu'aux environs de la trentaine, la composition corporelle standard d'un homme sédentaire en bonne santé comprend 20 % de masse grasse (et 30 % chez une femme), les sports (notamment d'endurance), pratiqués régulièrement, maintiennent des pourcentages de masse grasse beaucoup plus bas qu'aucune stratégie diététique ne pourrait le permettre de façon stable.

### Le calcul des besoins énergétiques

Il est devenu évident, au fil des années, que les besoins nutritionnels des sportifs sont différents de ceux des sujets

sédentaires. Chez un individu de sexe masculin, les besoins énergétiques sont d'environ 3 000 kcal/j entre 15 et 20 ans, de 2 500 entre 20 et 45 ans, de 2 200 entre 45 et 65 ans... (Tab. 1). On peut aussi, si l'on a déterminé la composition corporelle (masse grasse et masse maigre, ou MM), estimer la dépense énergétique de fond (métabolisme de base kcal/24 h) à  $34 \times MM$  (kg) et la multiplier par 1,2 à 1,4 pour obtenir les besoins journaliers d'une personne sédentaire.

En cas d'activité sportive, il faut rajouter à ces valeurs un niveau de dépenses d'environ 500 kcal/h (avec bien sûr des différences inter-sports), comme le montre le tableau 2. Si l'on interroge le sportif sur son volume d'activité hebdomadaire (heures/semaine de sport), on multiplie ce dernier par le coût énergétique indiqué sur le tableau 2. Ces calculs permettront donc de connaître les besoins énergétiques d'un sportif donné. Il n'est pas rare d'obtenir des dépenses journalières de plus de 4 000 kcal/24 h. Par exemple, on évalue entre 4 500 et 6 500 kcal/24 h

Tableau 1 - Besoins énergétiques théoriques dans les deux sexes.

Age	Hommes	Femmes
10 ans	2 000 kcal/j	1 800 kcal/j
15-20 ans	3 000 kcal/j	2 800 kcal/j
20-45 ans	2 500 kcal/j	2 300 kcal/j
45-65 ans	2 200 kcal/j	2 000 kcal/j
> 65 ans	2 000 kcal/j	1 800 kcal/j

- L'apport calorique fourni par les boissons, qu'elles soient sucrées ou alcoolisées, est calculé sur la base suivante : 1 portion = 1 verre (120 ml) = 70 kcal, pour les boissons telles que le vin, la bière, les sirops et les jus de fruits.

- Les entrées salées (tartes ou feuilletés salés, charcuteries) sont estimées à 50 kcal pour une portion moyenne. La question posée est : combien de fois par semaine prenez-vous des entrées salées ?

Le résultat obtenu est multiplié par 50 kcal pour calculer la contribution quotidienne des entrées salées à l'apport énergétique quotidien.

- La même démarche est utilisée pour les desserts sucrés : tartes sucrées, gâteaux, entremets sucrés, flans, glaces, soit un apport moyen de 50 kcal par jour, pour une consommation égale à une fois par semaine. Les protides obtenus à l'issue des premières questions, exprimés en g/kg/j, permettent de calculer, à l'aide de ces questions supplémentaires, la ration calorique totale :

$$\text{kcal/j} = \text{protides (g/j)} \times 24 + \text{extras} + \text{boissons alcoolisées (litres/j)} \times 300.$$

Nous avons, pour notre part, ajouté à ces questions quelques éléments visant à l'évaluation des lipides (avec l'imprécision bien connue concernant ces apports... mais on décèle ainsi souvent des excès intéressants !) (3). Tout cela est extrêmement simple et permet donc de déceler de grossières erreurs très courantes, qui sont au cœur même de la question du surentraînement, et pourraient épargner des investigations coûteuses...

### L'apport en eau

Après la ration calorique globale, l'importance de l'hydratation est un autre point fort sur lequel insistent les



Le pain est riche en protéines.

consensus (4). L'exercice fait perdre de l'eau du fait de la sudation. Cette sudation, mécanisme de thermolyse, est d'autant plus importante que le sportif est entraîné. Elle permet d'éviter l'hyperthermie qui serait un facteur limitant de l'exercice, comme le montrent les travaux de B. Nielsen. Le sportif entraîné présente une adaptation de la fonction sécrétrice des glandes sudoripares qui permet d'éliminer plus d'eau, tout en épargnant au mieux le capital électrolytique. Mais il reste le problème de la perte d'eau, qui ampute le volume extracellulaire et, donc, le capital volémique, déterminant du débit cardiaque. La déshydratation réduit la performance et la soif, qui est un signal traduisant une déshydratation débutante, et qui est donc un indicateur trop tardif : il faut boire avant d'avoir soif.

La position consensuelle de l'*American College of Sports Medicine* est qu'un apport de boisson adapté pour compenser les pertes liées à l'exercice permet de maintenir l'hydratation de l'organisme, nécessaire à l'exécution physique optimale de l'activité physique. Ce rapport, basé sur une revue exhaustive de la littérature, insiste sur 7 points.

1. Au cours des 24 heures précédant une compétition, l'hydratation doit être régulière, mais à un niveau normal.

2. Environ 2 heures avant l'exercice, il faut boire 500 ml de liquide, c'est-à-dire réaliser une hydratation préalable, en laissant le temps à l'excrétion urinaire de s'effectuer et en évitant l'hyperhydratation, qui ne présente aucun avantage et peut s'avérer dangereuse...

3. Pendant l'exercice, les athlètes devraient commencer à boire tôt et à intervalles réguliers afin d'essayer de consommer des fluides à un taux suffisant pour remplacer toute eau perdue par la transpiration (c'est-à-dire perte de poids corporel).

4. Les fluides ingérés doivent être plus frais que la température ambiante (entre 15 et 22° C) et fournis sous une forme permettant d'être ingérés avec facilité et avec une interruption minimale de l'exercice. Il est utile qu'ils aient un goût agréable.

5. Si l'exercice dure moins de 1 heure, il n'y a pas d'intérêt à enrichir la boisson en glucides ou en minéraux, il suffit de consommer de l'eau plate. Si l'exercice est plus prolongé, il devient par contre intéressant d'avoir une boisson enrichie en hydrates de carbone et/ou en électrolytes (ce que X. Bigard appelle «le triumvirat eau-sel-sucre»). Là, se pose la question du niveau de la concentration : les sodas du commerce sont hyperosmolaires et l'absorption optimale est obtenue avec un liquide iso-osmolaire, qui peut être tout simplement un soda ou un jus de fruit du commerce dilué de moitié (solution assez économique !).

6. Pendant l'exercice intense durant plus de 1 heure, on recommande que des hydrates de carbone soient ingérés à un taux de 30-60 g/h. Comme on le verra plus loin, ces glucides, ingérés lors de l'exercice, sont remarquablement disponibles, immédiatement oxydés de façon préférentielle et, donc, épargnent le glycogène et retardent la

fatigue. Le consensus américain conseille un apport sous forme liquide dans 600 à 1 200 ml/h de solutions, contenant 4 à 8 % d'hydrates de carbone (% signifiant g/100 ml). Les hydrates de carbone peuvent être des sucres (glucose ou saccharose), ou encore de l'amidon (par exemple, sous la forme de maltodextrine).

7. L'adjonction de sodium (0,5 à 0,7 g/l d'eau) à la solution de réhydratation est intéressante si l'exercice dure plus de 1 heure. Son principal intérêt est d'augmenter la sapidité et, surtout, d'éviter les redoutables hyponatrémies de dilution observées lors d'épreuves d'ultra-endurance chez des sujets qui boivent des quantités excessives d'eau pure. Ce tableau, appelé dans la littérature anglo-saxonne EAH (*Exercise-Acquired Hyponatremia*), peut entraîner des séquelles neurologiques fatales liées à un œdème céré-

bral. En général, quand la natrémie descend au-dessous de 120 mEq/l, on observe un syndrome confusionnel, et le coma survient au-dessous de 110. Il est intéressant de peser le sportif avant et après l'effort. En cas de dilution, il a pris du poids. Il existe, désormais, des molécules agonistes des récepteurs V2R de la vasopressine, comme le conivaptan, qui peuvent faire excréter de l'eau pure (aquarese) sans perdre d'électrolytes, et aider à traiter ces redoutables situations qui mettent en jeu le pronostic vital.

Ainsi, l'ingestion de boissons pendant l'exercice peut correspondre à deux impératifs : apport d'énergie sous forme de glucides (auquel cas on peut absorber des boissons concentrées en maltose ou maltodextrine : 40 à 80 g/l), ou hydratation (auquel cas on préférera des boissons moins concentrées : 30 à 40 g/l). En définitive,



Les sodas du commerce sont hyperosmolaires.

chaque sujet découvre peu à peu l'aspect personnalisé qui lui est davantage adapté. Et s'il faut veiller à l'hydratation, il faut aussi redouter, nous l'avons vu, l'hyperhydratation lors des épreuves prolongées. ■

## 2

# SUBSTRATS ÉNERGÉTIQUES

## Glucides et lipides

Dr Jean-Frédéric Brun (ER125, Inserm, Muscle et Pathologies, Service de Physiologie Clinique, Centre d'Exploration et de Réadaptation des Anomalies du Métabolisme Musculaire (CERAMM), CHU de Montpellier)

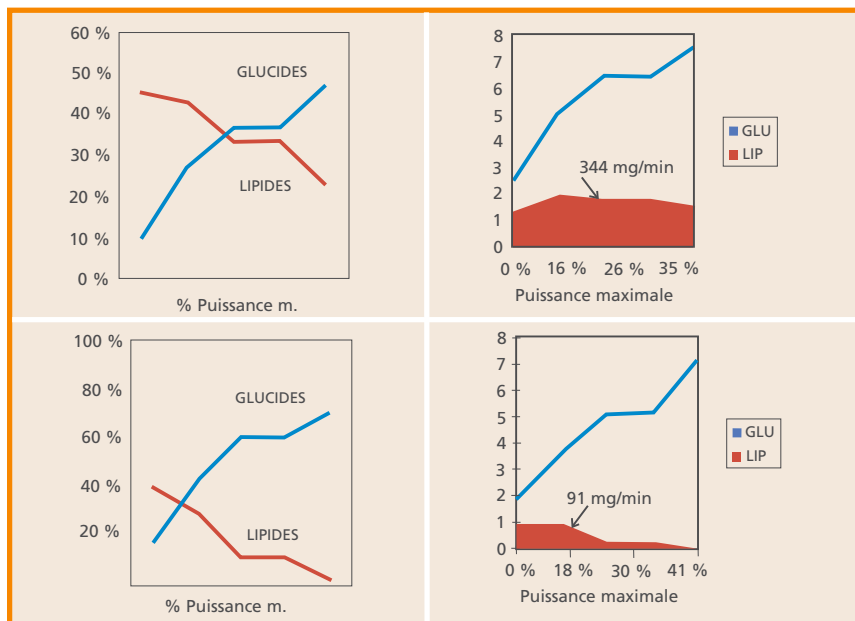
L'essentiel des bases théoriques de l'alimentation énergétique du sportif est basé sur des données de physiologie classique. Un exercice très bref de type "explosif" utilise les réserves locales d'ATP, ainsi que l'ATP resynthétisé à partir de la phosphocréatine. Dès que l'exercice dure plus de 30 secondes, ces réserves très faibles sont épuisées et il faut régénérer l'ATP à partir de réserves non phosphoryées : glucides et lipides (5).

Le choix entre les deux carburants va dépendre de trois facteurs (6, 7) :

1. l'intensité de l'exercice (les glucides sont le carburant de l'exercice à forte intensité, les lipides sont le carburant de l'exercice à faible ou moyenne intensité) ;
2. la part respective de ces deux substrats (quantifiée par la mesure du "point de croisement") (Fig. 1) varie d'un sujet à l'autre de façon très importante, mais est modifiable de façon marquée par l'entraînement ;

l'entraînement en endurance à faible ou moyenne intensité amplifie l'aptitude à oxyder les lipides, et l'entraînement à forte intensité ou l'exercice intermittent amplifient l'aptitude à oxyder les glucides ;

3. la durée de l'exercice, lorsque celui-ci est prolongé sans interruption, augmente l'utilisation des lipides, qui reste en fait stable pendant 45 minutes, puis augmente graduellement. Ainsi, selon le type d'exercice, les sources d'énergie utilisées sont différentes.



**Figure 1 - Théorie du cross over, concept de Brooks et Mercier, synthétisant l'énergétique de l'exercice.** Si l'on fait abstraction des protéines qui n'occupent pas une grande part sur le plan énergétique (moins de 10 %), le muscle va utiliser, pour tout exercice durant plus de quelques secondes, deux sources d'énergie : lipides et glucides. Lorsque l'intensité de l'exercice augmente, la part relative apportée par les lipides décroît et la part relative apportée par les glucides augmente. Le point de croisement (*cross over point*) est celui où les glucides deviennent majoritaires (> 70 % de l'énergie utilisée par le muscle). Le LIPOXmax est le point où le débit d'oxydation des lipides est maximal, car bien qu'en pourcentage, l'utilisation des lipides décroît continuellement, en valeur absolue, elle décrit une courbe en cloche. L'utilisation des glucides, par contre, augmente proportionnellement à la puissance (coût glucidique du watt). Ces points (*cross over point* et LIPOXmax) sont caractéristiques d'un sujet, assez reproductibles chez une même personne, mais différents d'un sujet à l'autre, et modifiables par l'entraînement. Le schéma montre deux types de profils à la calorimétrie d'effort : en haut, sujet "métaboliquement endurant" (point de croisement survenant à une puissance élevée, forte aptitude à oxyder les lipides) ; en bas, sujet "glucodépendant" (point de croisement survenant à une puissance faible, forte utilisation des glucides, faible utilisation des lipides). Ce dernier cas de figure est rencontré dans de nombreux sports privilégiant les activités en force ou les exercices intermittents (athlétisme, football, tennis...).



### > Les glucides

L'importance des glucides lors d'un exercice prolongé est mise en évidence par les hypoglycémies qui s'installent peu à peu et sont une cause de fatigue et de contre-performance (8). L'épuisement lors d'un marathon s'accompagne souvent d'une glycémie basse. Pour tenir, il faut donc maintenir sa glycémie, c'est-à-dire, en fait, l'apport adéquat de glucides aux tissus... Au cours des exercices brefs, ce problème n'a pas le temps de se produire et la glycémie est normale ou élevée.

### Les réserves de glucides disponibles

L'explication de ce problème tient au fait que les réserves de glucides disponibles sont extrêmement réduites (Tab. 1).

L'organisme dispose d'une vingtaine de grammes de glucose sanguin, mais la glycémie doit rester stable, et donc, ce glucose doit être renouvelé par production hépatique ou apport exogène. Aussi, le muscle utilise-t-il des réserves locales de glycogène, mais celles-ci s'épuisent peu à peu lors d'un exercice prolongé, de sorte qu'en 3 à 4 heures s'installe une déplétion glycogénique.

L'organisme a deux solutions pour pallier à cette carence de glucides.

**1. La glycogénolyse et la néoglucogénèse hépatique**, sous commande hormonale (catécholamines, cortisol, interleukine 6 et hormone de croissance), qui n'est possible qu'à la condition que l'insuline soit basse, levant l'inhibition insulinique sur la production hépatique de glucose.

Tableau 1 - Réserves énergétiques d'un sujet de 70 kg.

Substrat énergétique	Tissu	Kcal	Grammes
Triglycérides	Tissu adipeux	80 000 à 130 000	15 000
Glycogène	Foie	280	70
	Muscle	800 à 4 000	200 à 1 000
Glucose	Liquide extracellulaire	40	20
Protéines	Muscle	25 000	6 000

Tableau 2 - Index glycémique des principaux aliments (par rapport au pain blanc pris comme référence). Synthèse de la littérature.

Groupes	Aliments	Index glycémique par rapport au pain pris pour 100 %
Pain	Blanc	100
	Complet	100
	De seigle	95
Pâtes	5 min de cuisson	45
	15 min de cuisson	60
	"Al dente"	57*
	Enrichies en protéines	40
Céréales	Type corn flakes	119
Riz	Blanc	106*
	Complet	101*
	Germé	108*
Pommes de terre	Bouillie	80
	Purée	100
Légumineuses	Pois chiche	50
	Haricot sec	40-50
	Lentille	43
Fruits	Banane	85
	Cerise	32
	Orange	66
	Jus d'orange	67
	Pamplemousse	36
	Pêche	40
	Poire	47
	Pomme	53
Sucres	Fructose	30
	Glucose	14
	Miel	126
	Saccharose	90
	Sorbitol	20
Produits laitiers	Lait entier	49
	Lait écrémé	46
	Yaourt	52
	Glace	52

\* Données personnelles de notre équipe.

## 2. La supplémentation en sucres exogènes par voie orale.

### Quel intérêt présente l'index glycémique en nutrition du sport ?

Il est d'usage de distinguer deux catégories de glucides : les glucides "lents" et les glucides "rapides". La définition

de ces deux catégories se fait grâce à l'index glycémique.

L'index glycémique est défini par l'aire sous la courbe de la réponse hyperglycémiant à une quantité fixe de cet aliment, comparée à l'aire sous la courbe de la réponse hyperglycémiant à une quantité équivalente de glucides apportés sous forme de pain.

Les données de la littérature à ce sujet, tirées des travaux australiens de Jenkins, ne sont pas toujours superposables à ce que nous observons dans notre pays. Nous résumons, dans le tableau 2, les principaux index glycémiques des aliments.

Dans l'ensemble, les travaux indiquent que l'index glycémique influence le choix des substrats utilisés par le muscle à l'exercice. Ainsi, la prise de glucides à index glycémique élevé favorise l'utilisation préférentielle des glucides à l'effort et la prise de glucides à index glycémique faible permet une utilisation plus importante de lipides.

### Stratégie d'utilisation des glucides à l'exercice

Ces données permettent de définir l'utilisation des glucides en nutrition sportive. Il faut consommer des glucides avant, pendant et après l'exercice.

● **Avant l'exercice**, l'apport de glucides vise à optimiser les réserves de glycogène. Il faut éviter les erreurs diététiques qui déclencheraient des hypoglycémies réactionnelles d'effort liées à une non-diminution de l'insulinémie (voir plus bas). Pour cela, les consensus indiquent qu'il faut préférer les glucides à index glycémique faible (pâtes, riz). Il est logique d'en enrichir la ration dans la semaine qui précède l'exercice. Les "régimes dissociés scandinaves", développés pour augmenter les réserves de glycogènes, consistaient en 3 jours de régime aglycémique, suivis de 3 jours de régime



Les pâtes sont assez fortement insulino-gènes.



hyperglucidique. En réalité, on sait maintenant que les mêmes effets sont obtenus avec 3 jours de régime hyperglucidique, sans nécessité de le faire précéder par un régime aglucidique. Dans les heures mêmes qui précèdent l'effort, les consensus déconseillent les glucides à index glycémique élevé, susceptibles de déclencher une hyperinsulinémie relative et d'occasionner des hypoglycémies. En toute logique, ce n'est pas l'index glycémique qui importe ici, mais l'index insulinémique. Or, les pâtes, même si elles sont peu hyperglycémiantes et ont un faible index glycémique, sont assez fortement insulino-gènes. Un aliment intéressant à ce niveau est le riz, qui a un index glycémique analogue à celui du pain dans notre expérience (et contrairement à la littérature !), mais un faible index insulino-génique. Le riz prolonge l'activité en endurance après déplétion glycogénique (travaux d'Elisabeth Noriega) (9).

● **Pendant l'effort**, les travaux de P.J. Lefèvre (10) ont montré que les glucides ingérés sont remarquablement disponibles, immédiatement oxydés

de façon préférentielle, et donc, épargnent le glycogène et retardent la fatigue. Il est utile, lors des exercices d'une durée supérieure à 1 heure, comme indiqué plus haut à propos des boissons, de conseiller un apport glucidique sous forme de boisson contenant 4 à 8 % d'hydrates de carbone (glucose, saccharose, maltodextrine).

● **Après l'effort**, il faut reconstituer les stocks de glycogène. Physiologiquement, l'arrêt de l'exercice détermine une petite hyperglycémie puisque l'hyperconsommation de glucose s'arrête et celle-ci détermine un petit pic d'insuline, qui initie la recharge du muscle en glycogène. Le muscle, dans les heures qui suivent l'exercice, reste très avide de glucides qu'il stocke sous la forme de glycogène. A ce stade, la recharge glycogénique est donc initiée à partir du glucose circulant. Ensuite, la 2<sup>e</sup> heure après l'effort est le moment où l'appétence pour les glucides est maximale : c'est donc le moment idéal pour recharger par voie orale. Les glucides conseillés à ce moment sont plutôt ceux ayant un faible index

glycémique, notamment les pâtes. Le riz, plus hyperglycémiant mais très assimilable et peu insulino-gène, est aussi intéressant.

**Les hypoglycémies d'effort**

Nous avons consacré, récemment, une revue de la littérature très détaillée à ce sujet un peu méconnu malgré sa fréquence et son importance (8). Les hypoglycémies à l'exercice surviennent chez des sujets dont l'organisme est caractérisé par un débit d'utilisation des glucides très important au niveau du muscle, du fait de valeurs élevées d'insulino-sensibilité et d'efficacité glucidique. En fait, l'entraînement sportif met en place des mécanismes de résistance à l'hypoglycémie à l'exercice en modifiant l'utilisation des substrats énergétiques et les adaptations hormonales à l'effort.

Ces mécanismes peuvent être mis en défaut à la suite d'erreurs diététiques, par exemple un repas hyperglucidique précédant l'exercice et occasionnant un pic d'insuline qui "verrouillera" la libération compensatrice de glucose par le foie.

On a également montré qu'elles compromettent la thermorégulation lors d'exercices en milieu froid. La "crise énergétique" qu'elles déterminent pourrait aussi favoriser des lésions musculo-tendineuses, bien que cet aspect soit assez peu documenté. Ces hypoglycémies sont également favorisées par des circonstances particulières (écarts thermiques, altitude, rythme circadien). Les collations



Il est utile, lors des exercices d'une durée supérieure à 1 heure, de conseiller un apport glucidique.



**Tableau 3 - Equivalent théorique en durée d'activité physique de 1 kg de graisse.**

	Femmes	Hommes
Vélo	39 heures	30 heures
Course à pied	18 heures	15 heures
Tennis	17 heures	14 heures
Marche	242 heures	138 heures



Les acides gras poly-insaturés de la série  $\Omega 3$  (huiles de poisson), dans des conditions d'hypoxie d'altitude, augmentent le  $VO_{2max}$ .

glucidiques avant les efforts favorisent souvent ces hypoglycémies.

### > Les lipides

Le tableau 1 montre que, en théorie, les lipides sont une réserve pratiquement inépuisable. On peut calculer que 1 kg de graisse permet de tenir de nombreuses heures (Tab. 3). Mais ces considérations sont théoriques et il faut une quantité considérable d'activité physique pour perdre effectivement du poids. Les réserves lipidiques de l'organisme correspondent à l'énergie nécessaire pour courir une trentaine de marathons.

### L'utilisation des lipides

La courbe du *cross over concept*, sur la figure 1, montre que l'utilisation par le muscle des lipides culmine à un niveau particulier appelé "LIPOXmax" (11), qui apparaît en fait à un pourcentage excessivement variable du  $VO_{2max}$  selon les sujets, et dont l'amplitude est très variable, de 100 à 700 mg/min de lipides oxydés. Tout cela dépend des caractéristiques du sujet et de son entraînement, et les sports à type d'ac-

tivité brève et intense ou intermittente sont caractérisés par une utilisation de glucides prépondérante ("glucodépendance") et une faible aptitude à oxyder les lipides. L'entraînement en endurance ciblé au niveau du LIPOXmax est très efficace pour rétablir un débit important d'oxydation lipidique (qui permet d'épargner le glycogène). Comme nous l'avons vu, les glucides à faible index glycémique favorisent cette oxydation lipidique et, donc, l'épargne glycogénique.

En fait, ce que le muscle oxyde, ce sont surtout, au départ, les triglycérides intramusculaires des gouttelettes lipidiques juxtamitochondriales des fibres lentes oxydatives de type I. Les acides gras libres produits par la lipolyse dans le tissu adipeux ne constituent qu'une fraction des lipides oxydés et les lipoprotéines circulantes ne sont pas à l'effort une source d'énergie importante, même si l'exercice régulier modifie leur métabolisme dans un sens anti-athérogène.

Donc, en fait, l'exercice déplete en lipides ces gouttelettes lipidiques juxta-

mitochondriales qui se reconstituent après l'exercice, un peu comme nous l'avons vu pour le glycogène, à partir des lipides circulants et des acides gras du tissu adipeux. On conçoit que la répétition de ce cycle est importante dans la stratégie de lutte contre l'obésité, puisque les réserves adipocytaires sont ainsi en équilibre avec ces stocks intramusculaires disponibles pour l'oxydation.

### La ration idéale

Le document de consensus américain (1) précise que la réduction de la ration lipidique au-dessous de 15 % de la ration n'est pas à recommander. La ration idéale serait de 20-25 %. Au-dessous, on s'expose en effet à un apport insuffisant en acides gras essentiels et en vitamines liposolubles.

Les régimes hypergras, par contre, étaient en général décriés et supposés avoir un effet négatif sur la performance. On supposait même qu'ils "coupaient les jambes". Toutefois, dans certains contextes particuliers d'activités très intenses en pleine nature et en milieu hostile ou très froid, des travaux de nutritionnistes (essentiellement militaires) ont montré leur intérêt. Prudemment, le document de consensus américain (1) se contente d'indiquer que ces régimes sont insuffisamment connus pour qu'on puisse les recommander à des athlètes.

### Les acides gras poly-insaturés

Les acides gras poly-insaturés de la série  $\Omega 3$  (huiles de poisson) ont un intérêt particulier, mis en évidence par l'équipe de Y.C. Guézennec. Dans des conditions d'hypoxie d'altitude (mais pas en normoxie), ils augmentent le  $VO_{2max}$  du fait de leur effet favorable sur la déformabilité de la membrane du globule rouge, qui peut ainsi mieux assurer les échanges gazeux aux niveaux capillaire et pulmonaire. ■

## 3

## MATÉRIAUX ÉNERGÉTIQUES

## Protéines et micronutriments

Dr Jean-Frédéric Brun (ER125, Inserm, Muscle et Pathologies, Service de Physiologie Clinique, Centre d'Exploration et de Réadaptation des Anomalies du Métabolisme Musculaire (CERAMM), CHU de Montpellier)

### > Les protéines

Les protides peuvent constituer une source d'énergie, mais ne représentent, à l'exercice, pas plus de 3 à 10 % des sources d'énergie et ceci, uniquement en cas de manque de glucose. Leur importance est donc plus "plastique" qu'énergétique. Ils ont pourtant une importance essentielle dans la nutrition du sportif.

Le problème des apports protidiques chez le sportif est schématisé sur la figure 1. On rencontre deux excès opposés : certains sportifs ingèrent des quantités très excessives, dans l'espoir de "prendre du muscle"... ce qui n'est vrai que s'ils s'entraînent aussi intensivement. D'autres ont une alimentation carencée en protides.

#### Quelle ration conseiller ?

En fait, la ration conseillée pour une personne sédentaire n'est pas suffisante chez les sportifs, qui subissent un catabolisme protidique du fait des microtraumatismes liés à l'exercice et de l'utilisation des acides aminés dans la néoglucogénèse. Une ration protidique de l'ordre de 0,8 g/kg/j s'accompagne d'une balance azotée négative. Cette carence relative en protéines est visiblement un facteur de fragilisation et, notamment, d'affaiblissement des défenses immunes. Pour obtenir une balance azotée équilibrée ou positive, il faut que la ration protidique soit de 1,5 g/kg/j ou davantage. Par contre, les rations excédant 2 g/kg/j ne présentent aucun avantage en terme de

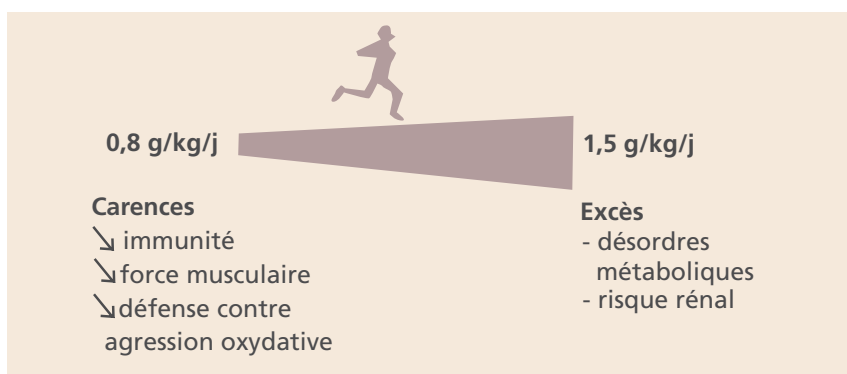


Figure 1 - Les besoins protéiques du sportif : respecter un équilibre entre carence et excès, en sachant que ces besoins sont augmentés d'autant plus que l'exercice est intense et/ou prolongé.

performance. Or, certains sportifs en prennent beaucoup plus, sous forme de suppléments, allant jusqu'à 4 ou 5 g/kg/j. On avait tendance à considérer que de telles rations sont dangereuses pour le rein, entraînant une hyperfiltration glomérulaire qui favorise l'insuffisance rénale. Ces craintes sont peut-être excessives et de récents travaux sur l'alimentation des Inuits montrent que certaines peuplades ont, depuis toujours, une alimentation exclusivement protido-lipidique et pratiquement aglucidique. Il semble qu'au début, ces régimes, qui déclenchent une cétose, sont affaiblissants, mais que l'organisme s'y adapte au long cours. Et qu'une telle alimentation a été la règle au paléolithique dans notre espèce, pendant des centaines de milliers d'années... Quoi qu'il en soit, ces régimes excessivement riches en protides, très atypiques, sont déconseillés sans ambiguïté par les

documents de consensus. La ration adaptée, selon les sports et leur côté traumatisant pour les muscles, se situe entre 1,4 et 1,7, ou 1,8 g/kg/j (12).

Ce calcul concerne la ration de base sur 24 heures, sans qu'il soit précisé à quel moment, par rapport à l'exercice, il faut les prendre. Mais il a été observé que l'appétit pour les protéines est augmenté dans les minutes qui suivent un exercice. Le moment d'appétence physiologique pour ces nutriments se situe donc après l'effort et, notamment, après un entraînement en force. On peut donc penser que c'est à ce moment qu'il faut les ingérer.

#### Quels protides ?

A priori, les viandes rouges apportent tous les acides aminés nécessaires au muscle et sont, de surcroît, une excellente source de fer. Il y a pourtant eu une grande vogue des régimes végétariens (donc excluant la viande et le



Les viandes rouges apportent tous les acides aminés nécessaires au muscle.



Le lactosérum, protéine rapide, est oxydé au cours des heures qui suivent l'ingestion.

poisson, mais autorisant les produits laitiers et les œufs) dans certains sports d'endurance, les viandes étant supposées apporter des toxines. Produits laitiers et œufs, du fait de leur bonne valeur biologique, permettent, a priori, si l'apport en est suffisant, de ne pas être carencé. Les régimes végétaliens représentent la forme extrême des régimes végétariens, excluant aussi les œufs, les produits laitiers et le miel. Les protéines ne sont plus fournies que par les légumineuses, les fruits oléagineux, les céréales et les graines. Ces protéines sont donc incomplètes et il manque des acides aminés, de la vitamine B12, du fer et du calcium. Il faut prendre soin d'associer céréales et légumineuses pour que cette ration protidique soit moins déséquilibrée.

L'étude des protéines du lait a révélé une dualité métabolique des protéines. La caséine, protéine "lente", est peu oxydée et plutôt utilisée pour l'anabolisme, tandis que le lactosérum, protéine "rapide", est oxydé au cours des heures qui suivent l'ingestion.

En médecine sportive, un grand intérêt a été porté aux acides aminés

ramifiés (leucine, isoleucine, valine). Ces acides aminés, essentiels chez l'homme, sont oxydés à l'effort. Leur apport sous forme de supplément ne semble pas, malgré certains travaux, présenter de vertus ergogéniques bien convaincantes, mais protège le muscle du catabolisme lié à l'effort, comme le montre l'élévation moindre d'enzymes telles que la CPK. Cet aspect devient intéressant lorsque l'on fait pratiquer de l'exercice aux personnes âgées. On crédite aussi ces acides aminés ramifiés d'effets favorables sur le plan psychomoteur à l'effort.

### > Les micronutriments

Il existe une littérature très riche et un peu discordante sur l'intérêt nutritionnel de divers micronutriments (vitamines, minéraux et oligoéléments) chez le sportif. Le document de consensus recommande une grande prudence dans ce domaine et n'encourage pas les suppléments en micronutriments chez les sportifs.

Le consensus indique que si la ration alimentaire est suffisante, on ne doit pas avoir de carences importantes.

Des supplémentations en micronutriments ne sont à proposer, selon les experts du consensus, que chez les sportifs dont la ration alimentaire est trop restrictive. L'autre cas dans lequel ces supplémentations sont recommandées sont les raids de plusieurs jours en pleine nature (raid commando, expédition de haute montagne...), au cours desquels l'alimentation comporte peu de fruits frais. Des suppléments vitaminiques corrigeront utilement une carence d'apport dans ces situations.

### Les carences rencontrées

En fait, il faut se rappeler que bien des sportifs ont des rations alimentaires insuffisantes ou déséquilibrées.

Ainsi, dans notre expérience, des carences en fer et en zinc sont fréquentes. Toutes deux sont à même de déterminer des baisses de performances réversibles sous traitement substitutif. Un apport adéquat de viande rouge devrait les prévenir (13, 14).

Des carences en phosphore et en magnésium ont été décrites, là aussi associées à des baisses de forme que la supplémentation peut corriger. Lorsqu'on les recherche systématiquement, elles restent en fait peu fréquentes.

### La créatine

La créatine, précurseur de la phosphocréatine, est un acide aminé non essentiel synthétisé par l'organisme (de 1 à 2 g par jour dans les reins, le foie et le pancréas), à partir de l'arginine et de la glycine, et apporté par l'alimentation, notamment la viande, la volaille et le poisson, à raison d'environ 5 g par kilo. Très en vogue dans le culturisme, on a pu mettre en évidence un léger effet ergogénique pour certaines performances "explosives" utilisant la filière anaérobie alactique, mais son prétendu effet anabolisant sur le muscle est très improbable.

### La carnitine

La carnitine, jadis classée parmi les vitamines, est apportée par la viande mais aussi formée à partir de la lysine et de la méthionine. Son rôle principal est de permettre le transfert dans la mitochondrie des acides gras à chaîne longue. De façon cocasse, elle a été

beaucoup vendue comme "produit miracle pour maigrir" et "brûleur de graisses", ce qui est totalement mensonger. Sa supplémentation chez le sportif n'a aucun effet ergogénique, mais chez des patients sédentaires dont le muscle présente un déficit secondaire en carnitine, elle augmente le  $VO_2\text{max}$  et diminue les sensations de crampes et de tiraillements musculaires. C'est donc un adjuvant intéressant pour des patients que l'on veut remettre à l'exercice plutôt que pour les sportifs (15).

### > Conclusion

Il est donc désormais clair que le sportif a des besoins nutritionnels spécifiques et que des erreurs diététiques ou des carences nutritionnelles peuvent compromettre sa performance. Retenons, en particulier, les erreurs au niveau de l'hydratation (par excès ou par défaut), les hypoglycémies réactionnelles d'effort liées à une mauvaise planification de l'ingestion des glucides, les carences en fer et en zinc, et les apports inadéquats en protéides. ■

## Bibliographie

1. Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and athletic performance. *J Am Diet Assoc* 2000 ; 100 : 1543-56.
2. Monnier L, Colette C, Percheron C et al. Dietary assessment in current clinical practice: how to conciliate rapidity, simplicity and reliability. *Diabetes Metab* 2001 ; 27 : 388-95.
3. Manetta J, Khaled S, Bouix D et al. Evaluation d'un questionnaire alimentaire court par comparaison avec un entretien diététique chez des sujets sportifs et sédentaires. *Sci Sport* 1997 ; 12 : 210-3.
4. Convertino VA, Armstrong LE, Coyle EF et al. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc* 1996 ; 28 : i-vii.
5. Boisseau N. Nutrition et bioénergétique du sportif. Bases fondamentales. Paris : Masson, 2005.
6. Brooks GA, Mercier J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "cross over" concept. *J Appl Physiol* 1994 ; 76 : 2253-61.
7. Aloulou I, Manetta J, Dumortier M et al. Effets en miroir de l'entraînement et du surentraînement sur la fonction somatotrope et la balance glucidolipidique à l'exercice. *Science & Sports* 2003 ; 18 : 305-7.
8. Brun JF, Dumortier M, Fédou C, Mercier J. Exercise hypoglycemia in nondiabetic subjects. *Diabetes Metab* 2001 ; 27 : 92-106.
9. Noriega E, Brun JF, Gautier J et al. Effects of rice on submaximal exercise endurance capacity. *Science & Sports* 1997 ; 12 : 192-203.
10. Pallikarakis N, Jandrain B, Pirnay F et al. Remarkable metabolic availability of oral glucose during long-duration exercise in humans. *J Appl Physiol* 1986 ; 60 : 1035-42.
11. Perez-Martin A, Dumortier M, Raynaud E et al. Balance of substrate oxidation during submaximal exercise in lean and obese people. *Diabetes Metab* 2001 ; 27 : 466-74.
12. Brun JF, Aïssa Benhaddad A, Raynaud E. Est-il approprié d'augmenter les apports protéiques alimentaires pour obtenir un renforcement musculaire chez certains sportifs et chez des patients amyotrophiques ? In : Simon L, Pélissier J, Hérisson C, eds. Progrès en médecine physique et de réadaptation. Paris : Masson, 1988 : 198-207.
13. Khaled S, Brun JF, Micallé JP et al. Serum zinc and blood rheology in sportsmen (football players). *Clin Hemorheol Microcirc* 1997 ; 17 : 47-58.
14. Khaled S, Brun JF, Bardet L et al. Importance physiologique du zinc dans l'activité physique. *Science & Sports* 1997 ; 12 : 179-91.
15. Reynier M, Brun JF, Orsetti A. Effets métaboliques de l'association L-carnitine-L-lysine-méthionine contre placebo au cours d'exercices submaximaux. *Science & Sports* 1998 ; 13 : 17-25.

Les suppléments sont recommandés pour les raids de plusieurs jours en nature, comme les expéditions en montagne.