

## LES MACROS NUTRIMENTS

Le 12 Janvier 1999

{ Denis RICHE in Guide nutritionnel des sports d'endurance }

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>3</b>
<b>1. LES GLUCIDES.....</b>	<b>4</b>
<u>1.1. Le glycogène .....</u>	<u>4</u>
<u>1.2. La régulation hormonale de la glycémie.....</u>	<u>5</u>
1.2.1. L'hypoglycémie.....	6
<u>1.3. La réponse à l'ingestion des glucides .....</u>	<u>6</u>
1.3.1. L'index glycémique.....	7
<u>1.4. Utilisation des glucides à l'effort.....</u>	<u>11</u>
1.4.1. Insuline et consommation des graisses.....	14
<u>1.5. L'épuisement du glycogène.....</u>	<u>14</u>
1.5.1. Les boissons d'efforts.....	15
<b>2. LES LIPIDES.....</b>	<b>15</b>
<u>2.1. Les réserves adipeuses corporelles chez la population générale.....</u>	<u>15</u>
<u>2.2. Les réserves adipeuses corporelles chez les sportifs.....</u>	<u>16</u>
2.2.1. Alimentation et hyperplasie.....	17
<u>2.3. Rôle des lipides .....</u>	<u>18</u>
2.3.1. Notion de saturation.....	19
2.3.2. Le rôle des acides gras essentiels.....	19
<u>2.4. Le cholestérol .....</u>	<u>20</u>
<u>2.5. Faut-il apporter des lipides en cours d'effort ?.....</u>	<u>21</u>

2.5.1 Le cas des triglycérides à chaîne moyenne.....	21
<b>3. LES PROTIDES.....</b>	<b>23</b>
<u>3.1. Les besoins protidiques.....</u>	<u>25</u>
3.1.1. Les besoins en protides pour les activités d'endurance.....	28
3.1.2. Les besoins en protides en musculation.....	29
3.1.3. Le cas des régimes amaigrissants.....	29
3.1.3.1. Les acides aminés ramifiés.....	30
3.1.3.2. L'optimisation de l'action des ramifiés.....	31
3.1.4. L'arginine.....	32
3.1.5. L'acide aspartique.....	33
3.1.6. Le tryptophane.....	33
3.1.7. L'acide glutamique.....	34
<u>3.2. Les sources de protéines.....</u>	<u>34</u>
<u>3.3. Le bilan protéique.....</u>	<u>36</u>
<u>3.4. En conclusion.....</u>	<u>37</u>

## INTRODUCTION

Suivant les situations, le type d'exercice accompli, le degré d'entraînement du sujet et son état de nutrition, le mélange utilisé par les fibres musculaires variera. Il s'agit d'une mixture complexe de lipides (graisses), de glucides (sucres) et de protides (dont font partie les protéines). Ces derniers jouent davantage un rôle structurel et bâtisseur qu'une fonction énergétique. D'ailleurs dans des conditions normales d'effort, de durée modérée (moins de 90 minutes), ils contribuent pour moins de 5% à la fourniture d'énergie. Ainsi les protéines servent à l'élaboration de nombreux tissus et de molécules très spécifiques (comme les enzymes ou les globules blancs). Ces trois familles, en raison de leur prépondérance dans notre ration et de leur rôle énergétique, ont reçu le nom de "macronutriments", par opposition à d'autres catégories de constituants, présents en moindre quantité, et dénués de tout rôle énergétique. Ceux-ci, qualifiés de "micronutriments", sont les minéraux, les oligo-éléments et les vitamines. Certaines familles de lipides, dont la plus connue est celle des "acides gras essentiels" et la plupart des protides jouent un rôle intermédiaire, à la fois énergétique et structurelle.

Dans le domaine de la nutrition du sportif, une hydratation correcte, aussi simple qu'elle puisse paraître, se révèle véritablement comme un critère préalable à la réussite..., rarement rempli au demeurant !

Notre organisme est capable de fabriquer un certain nombre de constituants impliqués dans notre métabolisme ; il peut aussi, grâce aux multitudes d'enzymes distincts présents dans nos tissus, réaliser des interconversions d'importance primordiale. Ainsi, en l'absence de glucide, il arrive à mettre en place une stratégie de remplacement qui assure au cerveau une fourniture d'énergie correcte, alors qu'en temps normal il refuse tout autre carburant que le glucose. Il existe également des voies de conversion d'une famille à l'autre, ce qui explique par exemple que la prise excessive de glucides puisse donner lieu à une expansion des réserves adipeuses, même en l'absence de toute ingestion de lipides.

Cependant, en dépit de l'efficacité et de l'étendue de ses possibilités, notre organisme demeure incapable d'élaborer certaines substances, et pour cette raison les nutritionnistes les qualifient d'essentiels, ce qui signifie que le bon accomplissement des phénomènes physiologiques dépend uniquement de l'apport régulier par notre alimentation de ces précieuses substances. Il s'y range évidemment les "acides gras essentiels", les "acides aminés essentiels", classés parmi les protides et sur lesquels nous nous attardons plus loin, ou encore les vitamines, les minéraux et les oligo-éléments, pour lesquels le métabolisme consiste principalement en un recyclage des petites quantités présentes dans nos tissus.

La façon dont se combinent ces éléments, et les multiples autres que nous ne connaissons pas encore et qui donnent aux mets leur originalité, attribuent à chaque aliment des caractéristiques «chimiques» uniques. La nutrition consiste à orienter les choix pratiqués de façon à ce que certains nutriments apparaissent à une teneur donnée, à un moment donné, dans la ration du sportif. Pour que chacun apprenne à opérer les choix les plus judicieux, il convient de présenter ces différents nutriments.

## 1. LES GLUCIDES

Nommés aussi "sucres" (en raison de la saveur caractéristique de certains membres de cette famille), ou plus rarement "hydrates de carbone" (cette terminologie empruntée à la chimie figurant surtout dans les ouvrages anglo-saxons), ils représentent le nutriment énergétique le plus important pour le sportif. Dès qu'un exercice physique est entrepris, et plus particulièrement lors d'activités intenses et/ou prolongées, il fournit l'essentiel de l'énergie requise.

Les chimistes distinguent deux catégories de glucides, les simples ou monosaccharide, et les complexes ou disaccharide. Les glucides se composent d'une part de ces monosaccharides, comme le glucose, le fructose ou le dextrose, et d'autre part de "disaccharide" comme le "saccharose" (sucre de table), qui associe une molécule de fructose et une de glucose.

Les glucides complexes sont de longues chaînes glucidiques pour lesquelles on reconnaît deux catégories, apparemment assez proches, qui ont pour nom amidon dans le règne végétal et glycogène dans le règne animal. L'amidon provient de notre ration, et n'existe pas dans notre corps, alors que le glycogène se situe dans le foie et dans les muscles.

### 1.1. Le glycogène

Il s'agit de la forme de stockage des glucides dans notre organisme, localisée dans deux sites distincts.

Celui des muscles intervient exclusivement dans la fourniture d'énergie lors d'une activité physique. Lorsqu'une fibre musculaire intervient dans un mouvement, certains enzymes se trouvent activés, comme si l'effort ouvrait un interrupteur permettant l'arrivée de l'énergie aux muscles. Le glycogène qu'ils contiennent se voit alors progressivement dégradé. Par contre, celui des muscles non sollicités reste intact; ainsi lors d'un marathon, même si les réserves de glycogène des mollets viennent à s'épuiser, celles des biceps ne viendront pas pallier à ce déficit, à moins de marcher sur les mains ! Notre organisme en stocke en quantité limitée, mais le maximum atteint varie fortement selon les individus et en fonction de divers paramètres. Le niveau de pratique du sujet intervient nettement. Ainsi, comparativement à un athlète bien entraîné et au repos depuis 24 à 48 heures, un sédentaire dispose de 3 fois moins de glycogène en réserve. Il en stocke environ 13 g/kg, contre 36 à 39 g/kg pour un athlète. Pour un coureur de 70 kg dont les muscles pèsent environ 16 kg, cela signifie que la quantité maximale de glycogène qui peut être stockée atteint 600 g. Ce sensible écart entre sportifs et non sportifs persiste indépendamment de l'alimentation adoptée, comme deux séries d'expérience en attestent ; un sédentaire qui adopte une alimentation hyperglucidique, favorable à la saturation du glycogène, élabore des réserves deux fois moindres qu'un sportif placé dans les conditions. Inversement, un athlète qui exclue temporairement les sucres arrive à ramener son glycogène à un niveau deux fois supérieur à ce que parvient à réaliser le sédentaire. Comment cela s'explique-t-il ? L'entraînement occasionne une série de adaptations, d'adaptations, qui tendent à favoriser le déroulement ultérieur des séances. Ces adaptations sont

purement localisées au niveau des cellules musculaires, encore nommées fibres. Ainsi, les biceps d'un marathonien stockent-ils beaucoup moins de glucides que ses cuisses. L'adoption d'une alimentation à haute teneur en glucides, fréquemment entreprise dans le milieu des d'endurance, ne fait qu'amplifier cette différence en leur faveur.

De son côté, celui du foie, qualifié d'hépatique, sert à assurer la stabilité de la glycémie. Ce rôle s'avère essentiel, dans la mesure où le glucose constitue normalement l'unique carburant de tissus nobles tels que le cerveau. L'autonomie dont dispose le foie est limitée. Il déverse environ 10 g de glucose par heure (au repos), dont 30% pour le seul cerveau, et stocke au maximum 100 g de glycogène. En complément, et davantage à mesure que le niveau du glycogène baisse, il peut fabriquer du glucose à partir de matériaux libérés par le métabolisme (processus nommé néoglucogénèse). Mais dans certaines situations où l'utilisation du glucose s'accroît, l'équilibre entre les entrées et les sorties peut se trouver compromis, par exemple à l'occasion d'un stress, d'un effort ou, paradoxalement, à la suite de l'ingestion isolée d'une boisson sucrée. Cette instabilité latente de la glycémie explique la nécessité d'un apport de glucides au cours des repas et le contrôle efficace de son niveau.

En conclusion on peut dire que :

- le glycogène du foie sert au maintien de la glycémie et approvisionne l'ensemble de l'organisme,
- le glycogène musculaire sert uniquement aux muscles dans lesquels il est stocké,
- le maintien de la glycémie dans une étroite marge est absolument indispensable.

## 1.2. La régulation hormonale de la glycémie

Les glucides ingérés se transforment, sous l'effet de la digestion, en monosaccharides.

Parmi ceux-ci, le glucose occupe une place spéciale, d'une part en raison de sa prédominance dans les aliments que nous avalons et d'autre part parce que sa teneur dans le sang, la "glycémie", fait l'objet d'un contrôle très efficace. Celui-ci fait appel à l'action antagoniste et harmonieuse de deux classes d'hormones opposées. Il existe un équilibre entre celles qui font baisser la glycémie, et celles dotées de l'effet inverse, et qualifiées pour cette raison d'hyperglycémiantes. La prédominance des unes ou des autres, à un moment donné, dépend des conditions, de la présence éventuelle d'un stress, de l'alimentation et de la glycémie elle-même ; toute chute de cette dernière stimule la libération d'hormones hyperglycémiantes, phénomène destiné à corriger l'anomalie. À l'inverse toute élévation de la glycémie déclenche la mise en jeu d'hormones hypoglycémiantes, rectifiant le processus. La principale hormone hypoglycémiante est l'insuline, qui assure à la fois l'entrée du glucose dans les tissus (sauf dans le foie où il pénètre librement) et en bloque la mobilisation. Celles dotées de l'effet contraire sont le glucagon et les hormones du stress, adrénaline et noradrénaline, que les chimistes désignent sous le nom générique de catécholamines.

En résumé :

L'insuline d'une part, l'adrénaline et le glucagon d'autre part, par leurs effets opposés sur la glycémie, en modulent le niveau et influent sur le stockage et la libération de glucose.

### 1.2.1. L'hypoglycémie

L'importance stratégique du glucose disponible dans le sang explique la régulation dont son taux, la glycémie, fait l'objet. On peut comparer cette glycémie au niveau d'eau d'une baignoire, qu'alimenterait un robinet (qui correspond au glucose déversé par le foie) et dotée d'un siphon (qui symbolise le glucose utilisé par les tissus). Au repos, il entre autant d'eau dans la baignoire qu'il en sort, de sorte que le niveau de liquide reste stable. Lorsque les réserves diminuent (par exemple lors d'un jeûne, lorsqu'on s'éloigne d'un repas ou qu'un stress accélère la mobilisation du glycogène hépatique), la consommation de glucose dépasse les apports : les entrées ne compensent plus les sorties, et à terme le niveau menace de chuter. Si on fournit des glucides avant la survenue de ce phénomène, il va remonter, comme avec l'ouverture d'un second robinet.

L'hypoglycémie peut se manifester de manière spectaculaire : elle donne lieu à une chute de l'attention, à une fatigue soudaine, à des nausées, à des vertiges, parfois à un malaise, voire à un coma si rien n'est entrepris pour la juguler. Cependant, dans le milieu sportif, on relève fréquemment des chutes de glycémie, notamment après ingestion de glucides, n'occasionnant pas la survenue de ces signes. En fait, l'hypoglycémie peut exercer une influence néfaste lorsqu'elle s'accompagne d'un manque de glucose au niveau cellulaire. Dans ce cas, elle donne lieu à la fameuse "fringale", évoquée dans une multitude d'anecdotes issues du milieu sportif, et que la prise immédiate de glucides permet de corriger dans un délai de plusieurs minutes.

### 1.3. La réponse à l'ingestion des glucides

Sur le plan structurel, les chimistes opèrent une distinction entre les différentes catégories de glucides en fonction de la longueur de leurs chaînes. On a ainsi parlé pendant des années de glucides simples ou complexes, ou encore de sucres rapides ou lents, en référence cette fois à leur vitesse supposée d'assimilation. Suivant leur groupe d'origine, leur ingestion entraîne des conséquences distinctes : les premiers, caractérisés par leur saveur sucrée favorisent davantage la prise de poids que les seconds, surtout chez des individus sédentaires. Les évolutions orchestrées par l'introduction de nouvelles méthodes de recherche ont incité à abandonner cette conception. Il n'existe pas de délimitation entre deux groupes hypothétiques de glucides : toute séparation déterminée sur la base de leur vitesse d'assimilation revêt un côté arbitraire.

Cette distinction semblait pourtant logique. En effet, pour que le glucose qu'il renferme soit assimilé, il faut que la digestion scinde la chaîne d'amidon en fragments courts, lesquels vont à nouveau subir les assauts des sucs digestifs jusqu'à obtention monosaccharides constitutifs. Comparativement, les convois plus courts ou les isolés (mono- ou disaccharides), ne demandent pas autant d'opérations. De ce fait, on pensait qu'on les assimilait plus vite et que la libération des molécules de glucose demandait un délai supérieur à partir des glucides complexes. En outre, on suspectait qu'elle se fit de manière plus étalée dans le temps. Or les études menées depuis le début des années quatre-vingt ont apporté un cinglant démenti à cette théorie. Il faut donc

admettre que d'autres facteurs interviennent pour décider de la disponibilité des glucides. La façon dont sont agencées les chaînes de glucides ramifiées, l'environnement nutritionnel, par exemple la présence de substances non assimilables comme les fibres capables de gêner l'action des sucs digestifs, l'apport simultané de protides ou de la transformation des aliments sous l'effet de la cuisson constituent quelques-uns des facteurs déterminants. Leur présence va moduler la facilité d'intervention des enzymes digestifs, et par suite l'importance de la libération d'insuline consécutive à l'ingestion glucides.

**C'est la façon dont une prise de glucides déclenche la libération d'insuline qui décide des effets métaboliques consécutifs à leur ingestion.**

En cas de libération excessive d'insuline, on observe deux principaux phénomènes :

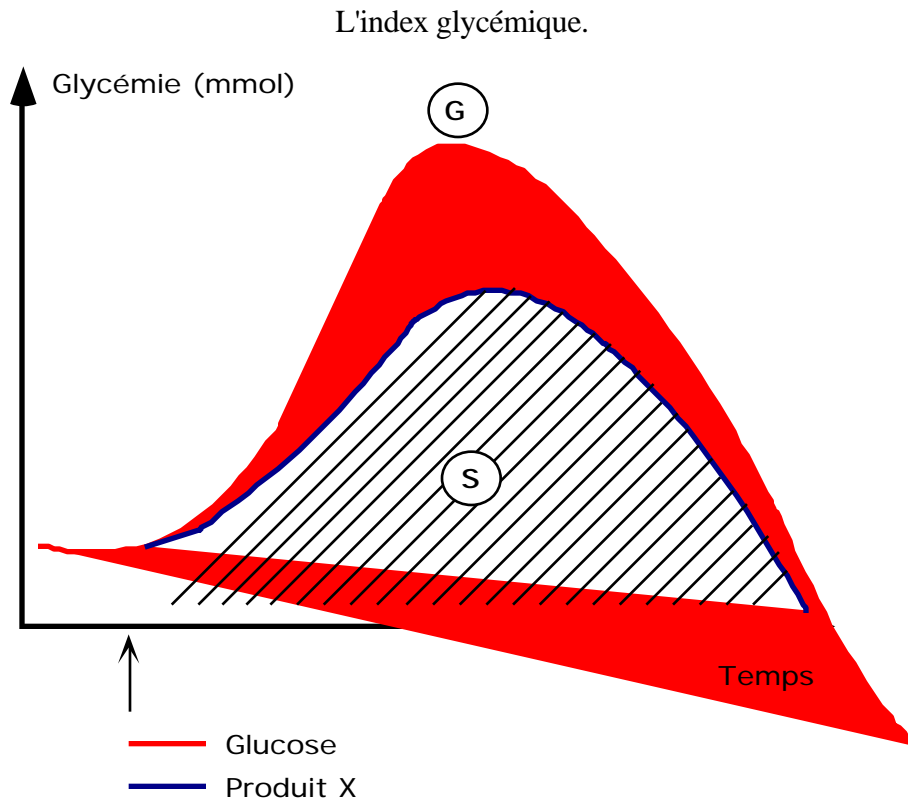
- Une entrée accélérée du glucose dans les cellules, ce qui dans un délai de 60 à 90 minutes peut donner lieu à une hypoglycémie dite "réactionnelle", consécutive à la mise en jeu excessive des hormones antagonistes, dont la réponse dépasse alors la perturbation initiale.
- Une entrée plus importante du glucose dans les cellules adipeuses, du moins au repos, et davantage chez un individu sédentaire que chez un sportif. Chez le premier, ce processus favorise alors la synthèse de nouvelles graisses de réserve. La sollicitation trop fréquente de l'insuline chez un sédentaire et un sportif au repos favorise la prise de masse grasse : on grossit souvent parce qu'on stocke trop de graisses, autrement dit quand on libère trop d'insuline.
- Ce processus hormonal n'a pas que des inconvénients chez un sportif entraîné : cette élévation du taux d'insuline va accélérer la pénétration du glucose dans les fibres, ce qui va activer la reformation du glycogène musculaire. En phase de récupération, il s'agit d'un mécanisme à mettre à profit.

### 1.3.1. L'index glycémique

Des chercheurs britanniques ont eu l'idée, au début des années quatre-vingt, de mesurer systématiquement l'amplitude de cette réponse après avoir administré une quantité donnée de glucides, provenant d'aliments d'origine très diverses. Ayant, grâce à des techniques sophistiquées, défini comment le taux d'insuline et la glycémie évoluent, à intervalles de temps réguliers, ils ont pu tracer une courbe standard, et délimiter une surface comprise sous cette courbe. Ils l'ont d'abord fait avec le glucose, défini comme étalon. Ils ont ensuite superposé, grâce à des moyens informatiques, les aires tirées des données enregistrées avec les autres aliments-tests (voir schéma suivant). Cette surface correspond à l'importance des fluctuations de la glycémie consécutive à la consommation de ce glucide. Elle traduit la propension de chaque aliment à provoquer une hyperglycémie ou à favoriser l'entrée de glucides dans les tissus (y compris les cellules adipeuses où le glucose se transforme en graisses).

Comment hiérarchiser les aliments par rapport à ce phénomène ? Grâce à l'index glycémique. Il s'obtient en comparant la courbe glycémique d'un aliment X à celle consécutive à la prise de glucose, à laquelle arbitrairement on a donné l'indice de référence "100".

L'ingestion de glucose provoque une modification de la glycémie. La courbe obtenue (G), en est caractéristique. L'échantillon (X) occasionne une altération différente de la glycémie. La surface située sous la courbe G correspond à un index de valeur 100. Celle située sous la courbe X couvre une superficie inférieure (S), pour laquelle l'index est de 80. La même opération se répète avec différents glucides.



Exemple :

La courbe obtenue après ingestion d'un échantillon X de glucides donne une courbe dont la surface correspond à 80% de celle due à la prise de glucose. L'index de cet aliment est alors de 80.

Plus l'index d'un aliment est faible, et moins il perturbe la glycémie, ce qui revient à dire qu'à portion égale il expose moins à perturber la glycémie et à faire prendre du poids.

Ainsi des aliments tels que les pâtes ou le riz, consommés en prises successives au cours, de la journée, perturbent peu la glycémie, et la préconisation de portions permettant de restaurer le glycogène dégradé expose à un risque minime de prise de masse grasse.

Les glucides complexes, même en quantité abondante, ne font pas grossir un sportif s'entraînant régulièrement.

Le tableau qui suit récapitule pour chaque aliment glucidique deux données, la teneur en glucides d'une part, et l'index glycémique d'autre part.

<b>Aliment</b>	<b>Teneur en glucides en g/100 g poids sec (ou cuit)</b>	<b>Index glycémique pour 50 g de glucides</b>
<b>Sucres rapides</b>		
Glucose	100	100
Carottes	14	92
Miel	77	88
Corn flakes	61	81
Purée	22	80
Jus de pomme	15	75
Riz blanc*	20	73
Pain blanc	55	72
Pomme vapeur	20	70
<b>Sucres mi-lents, mi-rapide</b>		
sucré	100	65
Pain complet	50	65
Müesli	60	67
Riz complet*	20	66
Banane	24	63
spaghetti*	25	51
Avoine	55	50
<b>Sucres lents</b>		
Pâtes complètes *	25	42
Orange	12	40
Pommes	13	39
Pois chiches*	20	36
Lentilles*	20	29
Fructose	100	20
Germes de soja	6	15

La lecture de ce tableau montre bien que la séparation à laquelle on procédait précédemment entre sucres simples et sucres complexes n'était pas fondée. Certains aliments de la première catégorie possèdent un index intermédiaire, comme c'est le cas du saccharose estimé à 65, et le fructose se caractérise par un index record, à peine 20, ce qui en fait un sucre particulièrement lent et un composé de choix dans certaines situations. Inversement, d'autres denrées précédemment classées parmi les glucides lents ne se distinguent

pas des simples. Ainsi le pain blanc, glucide complexe, et le saccharose présentent-ils des index très comparables.

De plus ce paramètre varie, pour un même aliment, selon la variété, comme on le voit avec les pâtes blanches ou complètes, nettement dissociées dans ce tableau, ou plus encore avec les pommes de terre selon qu'on les consomme cuites à la vapeur ou en purée. Ces écarts tiennent à la facilité avec laquelle, à chaque fois, les enzymes digestifs peuvent intervenir.

Exemple :

Dans le cas de la purée de pommes de terre, l'amidon du tubercule est déjà partiellement broyé, ce qui facilite le travail des sucs digestifs, capables d'accéder plus vite aux particules alimentaires. De ce fait, une plus grande quantité de glucose arrive chaque instant dans le sang, et la glycémie et l'insulinémie s'élèvent toutes deux plus vite qu'après l'ingestion de pomme de terre cuite à la vapeur. De la même façon, le pumpernickel, pain de seigle à grains entiers populaire en Europe septentrionale, possède-t-il un index plus faible que le pain de seigle classique à grains broyés.

Autre exemple :

L'écart noté entre l'index des pâtes blanches et celui des pâtes complètes, ou encore entre celui du jus de pomme et celui du fruit cru, s'expliquent tous deux par la présence dans les céréales complètes et dans le végétal entier de substances indigestibles, les fibres, qui gonflent, obstruent l'accès des sucs à l'amidon, et donc diminuent l'afflux de glucose vers le sang. Certes, l'écart entre les deux catégories de pâtes se révèle bien moins significatif que celui relevé entre le jus de fruit et la pomme entière, mais il rend bien compte de la complexité des processus qui déterminent l'index glycémique. Il souligne également l'intérêt nutritionnel des fibres.

Par ailleurs, au cours des repas, les glucides à index élevé et ceux à index bas se mélangent, et cette multiplicité des denrées freine finalement l'assimilation du glucose qu'elles délivrent. Ceci explique qu'un dessert sucré se comporte comme un sucre à index intermédiaire ou bas, et fait donc peu grossir, alors que pris isolément il se révèle plus néfaste pour la ligne. Pris en dehors des repas, les glucides à index élevé perturbent fortement la glycémie.

En général, les aliments riches en fibres et en glucides et qui ont un index faible ne font pas grossir. La plupart des glucides complexes possèdent un index bas. Le fructose est un sucre simple à index très bas, inférieur à celui des pâtes.

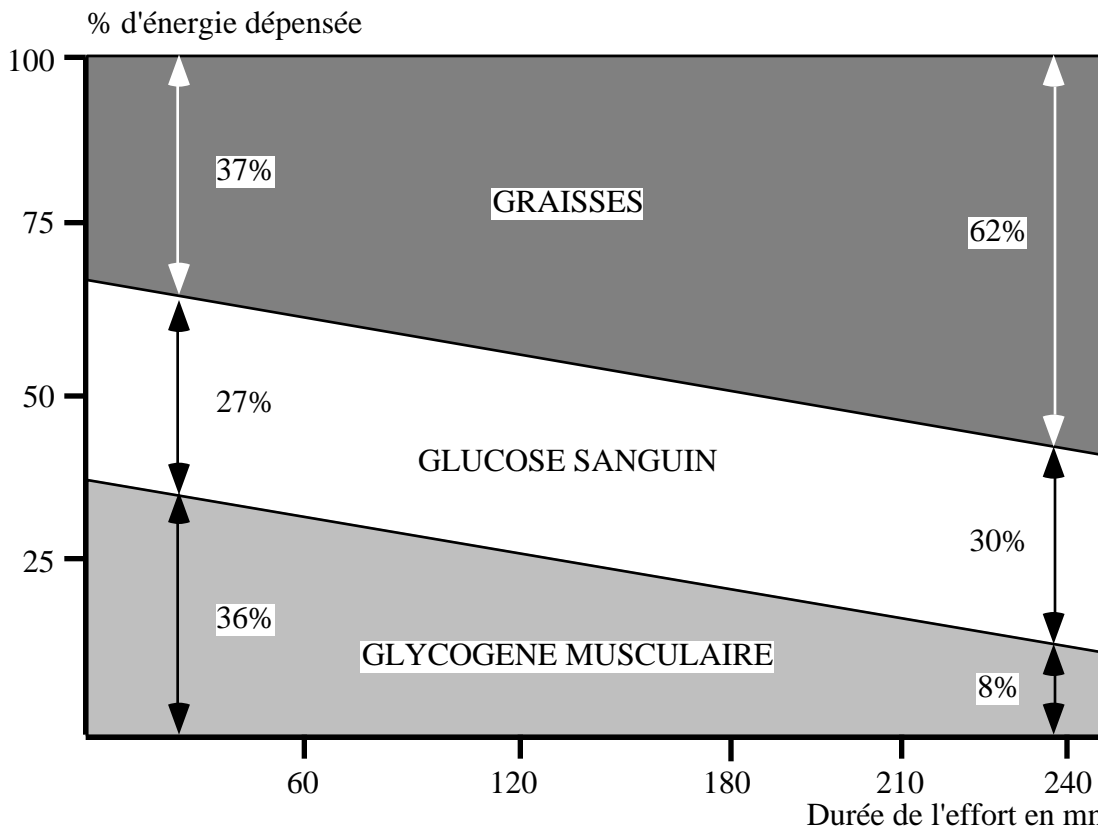
Un sucre à index élevé pris en fin de repas se comporte comme un sucre lent.

Le muscle demeure l'utilisateur n° 1 des glucides chez les sportifs.

#### 1.4. Utilisation des glucides à l'effort

Au repos les différents organes consomment du glucose à des taux très variables, certains tissus pouvant s'accommoder sans problème de lipides pour en tirer de l'énergie (notamment les muscles des sportifs en

dehors de l'entraînement), alors que d'autres dépendent exclusivement du glucose. Sa disponibilité n'est pas constante, et l'ajustement se révèle possible grâce aux tissus mixtes, qui utilisent sans problèmes glucides ou lipides, et pour lesquels la part des glucides dans le mélange qu'ils utilisent peut constamment s'adapter en fonction de l'intensité de l'effort. Le cerveau, les tissus nobles, les muscles au repos ne modifient pas leur utilisation de glucose. Par contre, celle des muscles actifs augmente sensiblement. Ils consomment à la fois du glycogène localisé dans leur structure et du glucose prélevé dans le sang. En quelles proportions ? Cela dépend des caractéristiques de l'exercice.

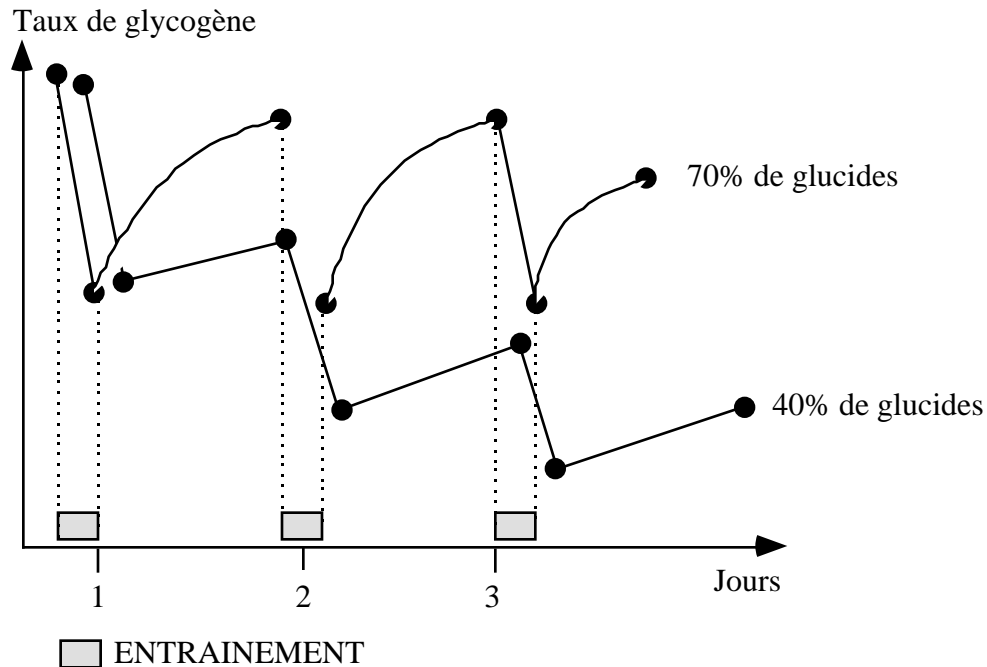


Evolution du mélange utilisé par les muscles au cours d'un effort effectué à 70% de  $VO_2$ max.

Par exemple, à l'allure du marathon, les fibres utilisent le glycogène qu'elles renferment à raison de 3,8 g/min, alors que 1,1 g de glucose disparaît du sang chaque minute. Un calcul effectué par le physiologiste Tim Noakes dans son ouvrage *Logic of running* nous révèle que dans ces conditions, et en l'absence de tout ravitaillement, l'hypoglycémie survient au bout d'environ 2h30. Le même calcul, appliqué aux épreuves d'ultramarathon, montre que l'autonomie du glycogène hépatique est de près de 4 heures. Cela souligne bien, à nouveau, que le type d'exercice accompli détermine la nature du substrat employé. En outre, plus les réserves musculaires s'épuisent prématurément lors d'une activité, ce qui dépend à la fois de l'alimentation des 3 derniers jours et de l'entraînement effectué durant cette même période, et plus celles du foie se voient mobilisées. On comprend donc tout l'intérêt qui existe à remplir le plus possible ses réserves de glycogène. Ceci passe par l'adoption d'une alimentation très riche en glucides lors des dernières 72 heures avant une

compétition. Mais cette règle vaut également en période d'entraînement : des travaux déjà anciens ont ainsi permis de déterminer que si on ne fournit pas assez de glucides entre les séances, le niveau des réserves de glycogène s'abaisse progressivement d'un jour à l'autre.

Une règle immuable gouverne l'élaboration de la ration d'entraînement : les besoins en glucides dépendent étroitement de l'activité, autrement dit de la charge d'entraînement. Selon une majorité d'études, un entraînement quotidien (ou de l'ordre de 5 séances minimales par semaine), impose la consommation journalière de 400 à 600 g de glucides.



Evolution du taux de glycogène musculaire au cours d'une phase d'entraînement quotidiens.

A l'effort les muscles peuvent utiliser des glucides issus de deux sources distinctes, l'une constituée avant l'effort (le glycogène musculaire), et l'autre dépendant des apports alimentaires en cours d'activité (le glucose sanguin). L'une peut-elle totalement remplacer l'autre, autrement dit le glucose sanguin et le glycogène des muscles constituent-ils deux sources de glucides indiscernables ? Hélas non. D'une majorité d'études conduites sur cette question il ressort que la quantité maximale de glucose que nos intestins parviennent à assimiler, puis que nos muscles réussissent à utiliser, ne dépasse pas 70 g/heure. Or en compétition, il faut dégrader au minimum deux fois plus de glucides pour maintenir une cadence élevée. La prise de glucides en cours d'activité pourra donc, au mieux, retarder l'épuisement du glycogène et empêcher l'hypoglycémie, la condition de leur efficacité étant toutefois de se révéler rapidement disponibles. On voit tout de suite l'avantage que présentent, sur ce plan, les préparations à base de glucides à index élevé, tels que le glucose ou les polymères de glucose. Mais quelle conséquence cette procédure a-t-elle sur le taux d'insuline et par suite sur la possibilité offerte au tissu adipeux d'élaborer des graisses de réserve à partir de ce glucose ? Elle se

révèle minime. Lors d'une activité les fibres musculaires ouvrent davantage de "portes" pour laisser pénétrer le glucose, et en outre les taux des hormones antagonistes, l'adrénaline et la noradrénaline, s'élèvent. L'insuline est donc "étouffée", et la fabrication de graisses se révèle impossible.

#### 1.4.1. Insuline et consommation des graisses

Pour être tout à fait justes, il faut reconnaître que le taux d'insuline présente de légères fluctuations à l'effort. Ainsi, lors d'une prise fréquente et élevée de glucose, elle tend à augmenter, ce qui est sans conséquence sur la glycémie comme on l'a vu. Mais une autre perturbation peut en résulter : outre son effet sur la glycémie, l'insuline exerce une action inhibitrice sur la mobilisation des graisses. Si la prise de certains glucides en cours d'effort peut contribuer à légèrement faire grimper sa teneur, ce qui semble être le cas avec le glucose, l'intervention des lipides dans la fourniture d'énergie peut alors décroître. On explique ainsi que certaines études aient semblé montrer que la prise de fructose, sans incidence sur le taux d'insuline à l'effort, permettait comparativement au glucose une utilisation plus importante des graisses de réserve. Ces différences retentissent-elles sur le niveau de performance ? Tout dépend ; le blocage éventuel de la mobilisation des lipides après prise massive de glucose (surtout si elle a lieu juste avant l'échauffement) peut influencer sur la capacité athlétique lors d'efforts de longue durée, seulement si on n'y ingère pas suffisamment de glucides. La meilleure façon de connaître une défaillance consiste à ingérer une forte quantité de glucides avant l'échauffement, et à ne plus consommer ensuite que de l'eau.

#### 1.5. L'épuisement du glycogène

Que se passe-t-il lorsqu'on ne recharge pas suffisamment ses réserves de glycogène ou qu'on les épuise au cours d'une épreuve ? Tant qu'on effectue une séance d'intensité faible ou modérée, cela ne pose pas de problème majeur. Des travaux ont d'ailleurs établi qu'une alimentation exclusivement à base de protéines (et nommée le jeûne protéiné), n'entravait pas le déroulement d'une telle activité. La marche, le jogging, la promenade à vélo demeurent ainsi possibles. Il en va tout autrement lors de compétitions ou de séances intenses. L'épuisement du glycogène va alors se traduire par une incapacité, pour les fibres concernées, à accomplir un effort soutenu. Rationnées en énergie, elles ne peuvent plus se contracter suffisamment fort ; une étude consacrée à cette question, et entreprise auprès de coureurs à pied, a ainsi montré que le niveau des réserves de glycogène pouvait influencer sur la qualité de leur foulée, sur sa longueur, sur la force déployée par les muscles et enfin sur le risque de blessure ultérieure. Rappelons que courir vite nécessite une fréquence gestuelle élevée (autrement dit, un maximum d'appuis en un temps donné), mais aussi une grande amplitude, c'est-à-dire une foulée longue. Or l'étude en question a montré que ceux qui entamaient une sortie de 30 km avec des stocks de glycogène trop bas voyaient leur vitesse chuter plus précocement, et ce uniquement en raison du rétrécissement de leur foulée, conséquence d'une perte de force. Insister dans ces conditions exposerait à surcharger des tissus affaiblis et à les endommager. Quand cela se produit, ces lésions s'observent surtout sur la partie terminale des compétitions telles que le marathon, lorsque le coureur "heurte

le mur", expression imagée rendant compte de la désagréable sensation éprouvée par celui qui a épuisé son glycogène. La plupart des atteintes relevées à l'arrivée des épreuves de 42,195 km sont survenues au cours des 12 derniers kilomètres, ceux couverts le plus lentement, et avec les graisses comme carburant de base.

### 1.5.1. Les boissons d'efforts

Le souci d'épargner plus durablement le glycogène en fournissant des substrats exogènes en cours d'effort a motivé la fabrication de plusieurs générations de boissons dites de l'effort. Elles furent d'abord réalisées à base de glucose, puis constituées de maltodextrines (polymères de glucose) pour des raisons de digestibilité. Or ce glucose constitue certes un excellent carburant d'appoint, puisque son utilisation augmente dans les minutes qui font suite à son ingestion, que la glycémie reste stable et que la chute du niveau du glycogène se ralentit si on en ingère. Mais la capacité des fibres à le brûler en lieu et place du glycogène n'est pas infinie. Une vaste série de travaux ont conclu que son taux d'utilisation n'excédait jamais 70 g/h (1,1 g/min) dans le cas le plus favorable, celui d'un mélange de fructose et de polymères. De surcroît, même si on en fournit 2 g/min, soit plus qu'il n'en faut en théorie, on ne parvient pas du tout à infléchir cette tendance. Pour délivrer au muscle le supplément d'énergie requis pour épargner le glycogène, il faut se tourner vers une autre source de combustible. On doit évidemment exclure d'emblée les protides, pour d'évidentes raisons liées à l'accumulation de déchets qui fait suite à leur combustion à vaste échelle. Il ne reste donc plus que le choix des lipides (cf chapitre 2.5).

## 2. LES LIPIDES

Les nutritionnistes préfèrent ce terme de lipides à ceux plus usuels de graisses, de corps gras ou de matières grasses, ce dernier se révélant d'ailleurs bien trop approximatif. L'intérêt qu'on leur porte dans le domaine de la nutrition a une double origine :

- il s'agit de constituants de notre ration,
- ils entrent dans la composition de notre organisme, sous forme de réserves adipeuses élaborées à partir de tous les excédents alimentaires.

### 2.1. Les réserves adipeuses corporelles chez la population générale

Chaque individu possède des réserves de graisses localisées dans les cellules adipeuses ou "adipocytes". Leur nombre varie d'un sujet à l'autre, selon son sexe, son alimentation à certaines périodes critiques et son bagage génétique. Il n'évolue plus guère chez l'adulte (sauf exception chez le sportif, voir alimentation et hyperplasie, chapitre 2.2.1), où il atteint en moyenne 20 à 25 milliards. Posséder peu de cellules adipeuses signifie-t-il qu'on sera moins gras ? Pas forcément. En effet, la façon dont ces cellules vont se remplir, très variable d'un individu à l'autre, va faire que chez certains leur diamètre moyen demeurera étrié, alors que

chez d'autres, en raison d'un stockage exagéré, il sera en constante augmentation. Un homme doté d'un nombre anormalement élevé de cellules adipeuses, mais qui adopte une hygiène de vie très stricte, peut fort bien se révéler plus maigre que tel autre qui dispose, initialement, d'un moins grand nombre d'adipocytes, mais qui les a consciencieusement remplis au cours de son existence.

L'adiposité moyenne d'une population occidentale constitue une bonne image de statuts nutritionnel et économique. En santé publique et en médecine du sport, on mesure régulièrement le pourcentage de masse grasse de groupes de sujets ou de sportifs. Cette démarche fait appel à plusieurs méthodes, les plus classiques reposant sur la détermination des plis cutanés : leur somme est intégrée dans une équation qui aide à calculer le taux d'adiposité de manière approchée. D'autres procédures ont été développées récemment, la fiabilité de techniques comme la pesée hydrostatique ou la résonance magnétique nucléaire permettant une meilleure approche. L'entreprise d'études à vaste échelle permet d'obtenir des données dont le report donne lieu à deux courbes similaires, décalées, centrées respectivement sur 15% pour les hommes et 25% pour les femmes. D'une façon générale, les dames sont "programmées" pour davantage de réserves adipeuses, sans doute en raison de leur activité génitrice.

Les lipides corporels se rangent en fait en deux catégories :

- Les lipides constitutifs, qui se retrouvent dans la moelle osseuse, le cœur, les poumons, le foie, etc. Leur présence se révèle indispensable au fonctionnement cellulaire. Certains lipides, les acides gras essentiels, participent ainsi au cérébral et par la suite au bon déroulement de divers processus physiologiques, hormonal ou immunitaire. Altérer la disponibilité en ces nutriments, par exemple en recherchant une maigreur exagérée, peut ainsi avoir des répercussions indirectes gravissimes. Chez la femme, on englobe dans cette catégorie les lipides caractéristiques du sexe, dont on ignore s'il s'agit d'un stock réutilisable ou non. On les trouve principalement dans la région pelvienne et les seins, ces derniers ne représentant toutefois pas plus de 4% du poids du corps.
- Evidemment, ce sont surtout les graisses de réserve qui déterminent la maigreur ou l'adiposité d'un sujet. Ce sont celles dont on veillera à limiter l'ampleur. Mais tout régime amaigrissant affecte indiscutablement la teneur lipides constitutifs, et la plastique de certaines championnes.

## 2.2. Les réserves adipeuses corporelles chez les sportifs

Comparativement aux sédentaires, les athlètes d'élite (marathon, cyclisme, triathlon) présentent des taux de graisses corporelles deux fois moindres : les études menées initialement dans les années soixante-dix ont ainsi permis d'évaluer de 2 à 7% l'adiposité de l'élite masculine, contre 15% chez les féminines, avec un record de 6%. La norvégienne Grete Waitz, l'ancienne détentrice de la meilleure performance mondiale sur marathon, possédait pour sa part une adiposité de 8%. Chez les hommes, l'Australien Derek Clayton, mesuré à moins de 2% de masse grasse peu après avoir établi un chrono futuriste de 2h 08' 34" au marathon d'Anvers en 1969, détient sans doute un record difficilement améliorable, même si la fiabilité de ce chiffre apparaît aujourd'hui très contestable, comme le souligne Karl Friedl.

Dans des disciplines comme la course à pied ou le vélo, où on doit déplacer son poids, une surcharge inerte comme celle due à un excédent adipeux peut affecter les performances d'une manière quantifiable (voir ci-dessous) et également exposer les tendons et les articulations à la survenue de pathologies. On comprend dès lors pourquoi beaucoup, de grands champions se montrent si maigres.

Exemple:

Un athlète de 70 kg avance à 15 km/h, ce qui correspond à une dépense énergétique de  $70 \times 15 = 1050$  calories/heure, soit 17,5 cal/min. Il s'agit de la production d'énergie critique, qui coïncide à la cadence qu'il peut maintenir une heure durant. S'il présente un excédent de 2 kg, la production critique doit lui permettre de déplacer une masse plus lourde. Il va de ce fait perdre de la vitesse. Il ne lui faudra plus  $(70/17,5)$  mais,  $(72/17,5)$  minutes pour effectuer un kilomètre, c'est-à-dire : 4' 07", ce qui représente une allure de 14,58 km/h. Elle est tombée de près d'un demi-kilomètre à l'heure, et sur marathon le débours se chiffrera à 4' 55", voire davantage en raison d'un style rendu moins économique.

NB : L'économie - ou rendement traduit qu'à vitesse égale et avec des capacités similaires, certains athlètes dépensent plus d'énergie que d'autres, comme si le compromis entre leur style et leur morphologie n'était pas le meilleur ou qu'un excédent de gestes "parasites" faisait gaspiller un surcroît de calories. On sait que l'entraînement à allure de compétition majeure le rendement.

### 2.2.1. Alimentation et hyperplasie

Quand un tissu augmente de volume, qu'il s'agisse du muscle du culturiste ou du tour de ceinture d'un obèse, les biologistes cherchent à déterminer le type de processus qui intervient. Pour eux, deux explications seulement peuvent s'envisager. Soit il s'agit d'un gonflement, d'un développement des cellules préexistantes. On parle alors d'hypertrophie. Soit il se produit une multiplication de ces cellules, par division, et on évoque alors l'hyperplasie. Lequel des deux caractérise l'expansion du tissu adipeux ? On a longtemps pensé que chez l'adulte le nombre de cellules adipeuses demeurerait immuable, et que seule variait la saturation, le degré de remplissage des adipocytes, ceux-ci se s'élargissant plus ou moins selon les apports alimentaires et l'importance des processus de stockage. Mais ceci n'est pas tout à fait exact; en cas d'obésité franche et durable, lorsque les individus disposent de cellules adipeuses très volumineuses (ayant subi une hypertrophie), il arrive que se produise secondairement une division. L'adiposité a déclenché une hyperplasie et par la suite, s'il maigrit, cet individu demeurera davantage exposé à une reprise de masse grasse, en raison de l'accroissement du nombre d'adipocytes. Pourquoi risque-t-il plus de prendre du poids ? Si elle peut se développer quasiment indéfiniment, sa taille ne présentant aucune limite supérieure, la cellule adipeuse ne peut par contre pas se rétrécir en dessous d'un diamètre minimal. Il existe en effet un seuil qui garantit une sorte de réserve de guerre de l'organisme, préservant certains stocks indispensables pour des cas d'absolue nécessité. Certains faits d'Histoire nous ont hélas enseigné que ce mécanisme protecteur jouait un rôle prépondérant pour la survie de l'espèce. Or si un athlète essaie de diminuer son adiposité en tentant d'abaisser le volume moyen de ses adipocytes sous la valeur-seuil,

divers mécanismes se mettent en place pour s'opposer à cette démarche. On assiste notamment à une augmentation de la faim et de l'appétit spécifique pour les lipides, évoqués par Jean-Louis Étienne au retour d'une de ses expéditions dans le Grand Nord, et vécue par certains marathoniens très maigres, au terme d'épreuves les ayant amené à entamer leurs réserves.

### 2.3. Rôle des lipides

Dans la nature, les substances se rangent en deux catégories :

- celles qui sont solubles dans l'eau (hydrophiles),
- celles qui sont insolubles dans l'eau et solubles dans l'huile. On les désigne indifféremment par lipophiles ou hydrophobes.

Les lipides apportés par l'alimentation se rangent dans cette seconde catégorie. Il en existe de multiples familles. La plus représentative est celle des triglycérides. Il s'agit de structures dans lesquelles trois acides gras (la molécule lipidique de base) sont fixés à un groupe porteur, le glycérol, qui contrairement à eux est hydrophile. Il existe des acides gras de multiples longueurs, de structures différentes, et c'est cette variabilité qui confère aux triglycérides qu'ils composent leur identité, de la même façon que 10 chiffres permettent de composer une infinité de nombres.

Les acides gras servent d'abord à fournir de l'énergie (leur combustion donne 9 calories par gramme), et du fait que l'organisme peut en mettre en réserve leur utilisation peut parfois s'opérer au terme d'un séjour prolongé dans les adipocytes où ils sont restés en réserve. Cette richesse énergétique et leur facilité de stockage liée à leur caractère hydrophobe (qui n'aime pas l'eau) les amène à se condenser sous forme d'amas de gouttelettes. Ceci explique qu'il s'agisse de la forme de réserve la plus économe : ainsi 1 kg de tissu adipeux correspond à une disponibilité de 8 000 calories, toujours utiles en cas de jeûne prolongé. Leur rejet de l'eau leur confère une propriété d'isolant, à l'origine de leur seconde action physiologique, celui de constituant des membranes (les zones frontières entre tissus ou entre les tissus et les liquides environnants) ou de câblage, notamment celui de l'ensemble du système nerveux. Les lipides peuvent se comparer à la gaine de plastique du fil, et le métal conducteur au neurone.

Certains acides gras, n'interviennent pas directement comme fournisseurs d'énergie, mais entrent au contraire en jeu dans des phénomènes physiologiques très importants. Or, à l'inverse des autres acides gras, leur synthèse s'avère impossible. On parle pour cette raison d'acides gras essentiels (AGE). Ce qualificatif traduit notre totale dépendance vis-à-vis de l'alimentation pour la couverture de nos besoins en ces graisses si précieuses. Sans eux la vie est impossible.

Le type d'acides gras constitutifs, leur teneur, leur répartition constituent des critères qui fixent la valeur nutritionnelle des constituants de la ration.

Comme l'ont établi les scientifiques les acides gras saturés, souvent qualifiés de "mauvaises graisses" de façon abusive, peuvent élever le taux de la "mauvaise" fraction de cholestérol si on en abuse ou celui des

triglycérides, responsables partiels d'accidents cardiaques. Mais tous les acides gras saturés n'y contribuent pas semblablement et en outre la susceptibilité du sujet à développer cette affection module ce risque. Certains acides gras font même figure d'exception par rapport à cette règle autrefois admise qui faisait de tous des "poisons" potentiels. Il s'en trouve ainsi qui exercent une action protectrice à l'encontre des maladies cardio-vasculaires. Le sportif doit cependant veiller à limiter son ingestion de graisses saturées, dans la mesure où elles ne présentent aucun caractère essentiel (la transformation des sucres peut en constituer une source intarissable), et que si on en accroît exagérément la proportion dans notre alimentation on risque de trop ingérer de lipides, ce qui peut entraver l'obtention du poids de forme.

Signalons l'existence d'un processus extrêmement important : l'abus de sucres rapides, et pis encore l'ingestion simultanée de graisses, ce qui survient avec la consommation de pâtes d'amandes, de produits de boulangerie, de crèmes glacées, de chocolat, etc., favorise la formation de triglycérides, autrement dit de graisses de réserve.

Ce processus défavorable concerne principalement les sédentaires, mais les sportifs qui n'adoptent pas une hygiène de vie rigoureuse peuvent également s'y trouver confrontés.

### 2.3.1. Notion de saturation

La notion de saturation se réfère à la force de la liaison qui tient deux atomes de carbone consécutifs. Ils peuvent poser entre eux des ponts simples, doubles ou triples. Si la chaîne ne comporte que le premier type de liaison, on parle d'acides gras saturés. Quand une des liaisons est double, il s'agit d'un acide gras "mono-insaturé". Au-delà, on fait référence aux acides gras "poly-insaturés".

### 2.3.2. Le rôle des acides gras essentiels

Les chimistes les désignent encore sous le nom d'acides gras poly-insaturés, en référence à leur structure intime. Il en existe précisément deux familles dérivées de deux acides gras distincts. Elles se nomment respectivement celle des "Oméga 3" (en référence au positionnement de la première double liaison) et celle des "Oméga 6". Bien que voisines et partageant certaines particularités, ces deux familles exercent des actions distinctes. L'une d'elles, la famille "Oméga 6" joue un rôle dans les premiers âges de la vie, puisque sa privation affecte le développement du veau. Les acides gras essentiels interviennent encore dans la fabrication de transmetteurs. De ce fait, ils contribuent au fonctionnement cérébral à trois niveaux :

- lors de la croissance,
- dans le gainage des neurones,
- dans la synthèse de messagers.

Les AGE, comme on les désigne encore de façon abrégée, participent également aux processus d'échange de liquide au niveau des petits vaisseaux (les capillaires), interviennent dans la coagulation et dans les fonctions sexuelles et de reproduction. Ces mécanismes résultent de la conversion, dans nos tissus, de

certains des acides gras polyinsaturés en prostaglandines, hormones dotées d'un spectre d'interventions très étendu. Les deux familles donnent lieu à la formation de prostaglandines distinctes et dotées de propriétés dissemblables. Signalons encore que les "W6" protègent les globules rouges des agressions qui, lors d'efforts effectués en altitude, peuvent contribuer à leur destruction. Leur apport à des taux appropriés les jours qui précèdent une compétition, ou en récupération, semble limiter l'ampleur des atteintes musculaires survenant à l'effort, ainsi que l'amplitude des perturbations immunitaires fréquentes à ce moment-là.

Si par le passé on s'est beaucoup focalisé sur l'intérêt des représentants de la famille "Oméga 6", en raison de ses effets cérébraux, on sait aujourd'hui qu'il faut en fait une bonne harmonie entre les deux catégories d'AGE. Notre alimentation pourvoit à nos besoins à partir de sources bien spécifiques : les acides gras de la famille "W6" d'origine végétale, se trouvent dans des huiles telles que celles d'arachide, alors que celles de la famille "W3" d'origine marine, certes présentes dans certains végétaux abondent principalement dans les poissons gras.

#### 2.4. Le cholestérol

La phobie du cholestérol qui, plus d'une décennie en arrière a touché beaucoup de monde, a généré des pratiques abusives, parmi lesquelles on peut citer celle due au docteur Robert Haas, consistant à jeter les jaunes d'oeufs. Avec le recul, on peut affirmer qu'il s'agit d'une vogue tout à fait exagérée, et ce pour plusieurs raisons :

- L'élévation du taux de mauvais cholestérol, extrêmement rare chez les adeptes des sports d'endurance que leur activité protège de ce risque, dépend principalement du patrimoine génétique. Des anomalies enzymatiques relatives aux processus d'épuration du cholestérol semble ainsi intervenir indépendamment du mode de vie. Cette anomalie défavorise une petite minorité d'individus, tenus à surveiller strictement leur alimentation, à l'inverse des autres pour qui une telle ascèse ne se justifie pas.
- L'adoption d'une mauvaise hygiène de vie peut révéler ou aggraver cette anomalie. Sédentarité, surpoids, tabagisme et alimentation trop grasses conjuguent leurs effets négatifs.

Chez un sujet ne répondant pas au premier critère, un accroissement des apports alimentaires de cholestérol ne se traduit généralement pas par une augmentation du taux de cholestérol. Ainsi lorsqu'on a demandé à 70 volontaires d'ingérer 14 oeufs par semaine pendant 5 mois, le taux moyen de cholestérol n'a pas fluctué du tout. Si l'alimentation contient trop de graisses saturées, ce paramètre peut s'élever, mais là encore la réponse diverge énormément d'un individu à l'autre. Compte tenu de leur alimentation, de leur hygiène de vie et de leur activité, les pratiquants des sports d'endurance se montrent peu exposés à ce problème... et peuvent donc tout à fait consommer 4 à 6 oeufs par semaine sans crainte.

## 2.5. Faut-il apporter des lipides en cours d'effort ?

Cette question pourrait se justifier en regard du rôle de carburant joué par les graisses, plus particulièrement lors d'activités prolongées. En fait, la participation des lipides à la dépense énergétique occasionnée par un exercice physique varie selon la durée de l'effort (plus il se prolonge, et plus elle s'accroît), et selon son intensité. Selon un calcul réalisé par François Peronet, un kilogramme de graisses corporelles dispose d'un potentiel énergétique de 8 000 kcal, soit 2 fois et demie ce qu'on dépense sur un marathon, chiffre purement théorique dans la mesure où les graisses n'apportent jamais l'intégralité de l'énergie requise pour un effort. Leur débit maximal d'utilisation correspond à ce qu'on dépense lors d'un exercice à 50% de  $VO_2$  max. Ce chiffre a toutefois l'avantage de montrer que l'apport de lipides à l'effort ne présente pas d'intérêt immédiat, d'autant que les muscles des athlètes ayant progressivement développé une série d'adaptations à l'effort, se montrent plus aptes à stocker et à mobiliser les lipides. De ce qui précède, il ressort que le rôle des lipides commence à devenir déterminant au-delà de 40 minutes d'effort continu, ainsi que lors d'exercices de faible intensité ou de ceux entrepris à jeun, particularité très intéressante pour ceux qui désirent accélérer la perte de poids.

On ne tire aucun avantage de la prise de lipides en cours d'effort. De par la lenteur de leur digestion, qui demande parfois plus de 5 heures, les troubles gastro-intestinaux pouvant faire suite à leur ingestion, la lenteur de leur dégradation dans les tissus et surtout l'importance de leurs réserves, même chez les plus affûtés des Kenyans, il ne paraît guère envisageable d'apporter des lipides juste avant l'effort et au cours de celui-ci. Seule note discordante dans ce concert, l'hypothèse émise par Tim Noakes.

Le physiologiste sud-africain, féru de grand fond et lui-même adepte de ces épreuves, a en effet envisagé d'enrichir en lipides le repas d'avant-course, et d'avancer celui-ci de manière à l'achever non plus 3 mais 5 heures avant le départ. Cet allongement du délai correspond au temps requis pour que cette "fat-party" occasionne une élévation sensible du taux d'acide gras sanguins au moment du coup de feu libérateur. Dans quel but ? Leur disponibilité s'accroîtrait et cela permettrait, selon lui, de modifier la composition du mélange consommé par le muscle à une intensité modérée : on y trouverait davantage de graisses et moins de glycogène, sans incidence sur l'allure de croisière. Le rêve de tout marathonien. Il s'ensuivrait en effet une précieuse économie du glycogène pour la fin de course. Cette séduisante hypothèse n'a pas résisté aux expériences de terrain, et l'idée de fournir des lipides à l'effort a été abandonnée... pour un temps.

### 2.5.1 Le cas des triglycérides à chaîne moyenne

Les triglycérides comportent trois chaînes d'acides gras fixées sur un groupement glycérol, lequel à l'inverse des lipides est hydrosoluble. Ces acides gras possèdent des longueurs et des degrés de saturation distincts. La grande majorité des acides gras possèdent plus de 12 atomes de carbone, ce en quoi ils se distinguent d'une autre famille, minoritaire, celle des acides gras à chaîne moyenne, qui ne comportent jamais plus de dix atomes de C, et en général, entre 6 et 8. Leurs acides gras constitutifs sont par ailleurs tous de type saturés. Ces graisses à chaîne moyenne se trouvent naturellement présents dans notre

alimentation, mais à des taux très faibles : même dans les denrées qui s'en montrent les meilleures sources, le beurre, la crème et surtout la noix de coco, ils ne représentent jamais plus de 10% des lipides constitutifs. Cette relative rareté a rendu nécessaire la réalisation de mélanges semi-synthétiques élaborés à partir de ces aliments, dont on rencontre aux Etats-Unis de plus en plus de variantes destinées aux sportifs.

Présents à l'état liquide à température ambiante, ils possèdent une plus grande solubilité que les autres lipides. Ceci résulte en partie de la petite taille des molécules qui les composent. Cette propriété n'est pas sans incidence sur la façon dont l'organisme les utilise et les dégrade. Ainsi leur digestion et leur absorption intestinale se déroulent-elles plus vite. De plus, après leur ingestion, les MCT font l'objet d'un transport direct jusqu'au foie par le sang. En cela, ils se distinguent des triglycérides à chaîne longue qui transitent par le système lymphatique. Sur beaucoup d'aspects, l'utilisation des MCT se trouve favorisée et accélérée.

On note également une différence relativement à l'habillage qu'elles revêtent dans l'organisme lors de leur transit intertissulaire. Les MCT peuvent en effet se lier à l'albumine ou demeurer sous forme de molécules libres dans le plasma. Par contre, les autres acides gras sont véhiculés tout au long du système lymphatique, sont intégrés à de grandes particules de lipides (chylomicrons), et voyagent dans le sang combinés à des protéines. On a donc affaire d'un côté à des voitures de sport et de l'autre à des poids lourds. Au niveau cellulaire le clivage se confirme : en effet, l'utilisation des acides gras nécessite le franchissement préalable de la membrane mitochondriale. Or ceux dotés d'une longue chaîne carbonée l'effectuent par l'intermédiaire du système de transport de la carnitine, alors que les MCT y entrent beaucoup plus librement. Or cette étape est celle qui influence le plus la vitesse d'oxydation des acides gras. On comprend donc que par ces spécificités les MCT puissent se révéler intéressants, notamment dans le domaine de la nutrition de l'effort.

Ces particularités ont conduit le monde scientifique à évaluer de manière rigoureuse et systématique l'effet sur la performance des MCT ingérés dans le cadre de l'exercice.

Certains chercheurs ont en effet émis l'hypothèse qu'en les fournissant seuls, et non plus noyés dans la masse d'autres acides gras exempts du même intérêt théorique, on pourrait leur trouver une utilité dans toutes les situations où le muscle dépend beaucoup, sur le plan énergétique, des substrats disponibles dans le sang. Il s'agit en l'occurrence des exercices de longue durée, ou de ceux aboutissant à l'épuisement du glycogène musculaire avant leur terme, ce qui nous ramène au début de ce paragraphe. En peu de temps est sortie une flopée de publications. La première du genre, en 1980, est due à un collaborateur de David Costill. Il était question d'y étudier l'effet des MCT combinés à un repas expérimental, administré une heure avant un exercice d'intensité modérée (70% de  $VO_2$  max). Sur le plan de l'intensité on se situait dans le bon registre, mais en ce qui concerne la durée de test on ne respectait sans doute pas les conditions les plus propices à l'observation d'un effet des MCT, même si les volontaires se trouvaient à jeun depuis la veille au soir. Les 30 g de MCT qu'ils ont ajoutés aux céréales n'ont pas du tout modifié l'utilisation des

glucides ou des graisses au cours de l'effort. D'autres travaux entrepris par la suite dans le courant des années quatre-vingt, et faisant appel à des protocoles légèrement différents, ont abouti au même constat d'absence d'effet.

Les chercheurs du groupe "Isostar" ont à leur tour abordé cette question, et ont pour cela mis en place une nouvelle série de travaux, tout aussi rigoureux que les précédents.

Ils ont ainsi cherché à déterminer l'importance de l'utilisation des MCT pris à raison de 30 g lors d'un exercice peu intense (50% de  $VO_2$  max), selon qu'on les donnait isolément ou combinés à des glucides, et soit en présence de réserves de glycogène normales, soit en présence de stocks préalablement épuisés par un effort exécuté la veille. Ce dernier cas de figure constituait la situation la plus propice à l'observation d'un éventuel effet de ces MCT. Or, pas plus que dans les études précédentes on n'a pu leur attribuer la moindre efficacité : dans tous les cas ils délivraient de 6 à 8% de l'énergie consommée à l'effort, y compris après déplétion préalable du glycogène, ce qui ne plaide pas en faveur des partisans des MCT. Cette contribution énergétique correspond, comme d'autres travaux l'ont établi à une utilisation moyenne de 10 à 12 g de MCT en 2 heures d'effort.

Seule particularité : leur ingestion en même temps que des glucides accélère leur utilisation lors d'efforts d'intensité modérée. Mais au total leur contribution ne change pas, puisqu'un ralentissement de la combustion des MCT survient ensuite. De plus, si on les consomme après un régime riche en glucides, le glycogène n'est pas épargné.

Suspectant que cette absence d'effet pourrait s'expliquer par l'emploi de doses de MCT trop faibles, cette équipe néerlandaise a employé un nouveau protocole et forcé les doses. L'effort demandé durait à nouveau 2 heures, se déroulant d'abord à une intensité faible (50% de  $VO_2$  max), à la suite de quoi on a imposé un effort chronométrique d'environ 13 minutes. Durant cet exercice, les volontaires ingéraient de plus grandes quantités de MCT, parfois jusqu'à 90 g. Pourtant il n'est apparu, à l'analyse des données, aucune différence notable de performance, avec ou sans MCT. Leur ingestion en cours d'effort ne se justifie donc pas, d'autant qu'avec de telles doses le risque de trouble digestif croît fortement et rend irréalisable la généralisation de la procédure. En effet, avec 40 g des crampes intestinales très douloureuses peuvent survenir dans un délai de 61 minutes après l'ingestion. Avec une prise de 50 g, les symptômes se révèlent encore s'accompagnent de diarrhées, voire de vertiges ou de nausées.

### **3. LES PROTIDES**

On parle habituellement de protéines, mais les nutritionnistes préfèrent le terme plus précis de "protides". Cette famille regroupe plusieurs membres qui sont respectivement les protéines, les peptides et les acides aminés. Comment se différencient-ils ? Les protéines se composent d'un assemblage complexe et ordonné d'unités simples, les acides aminés. Cette architecture se révèle bien plus élaborée que celle du glycogène, notamment parce que pas moins de 20 sortes d'acides aminés différents entrent dans la composition de ces assemblages.

Quand la chaîne ne comporte pas plus qu'une dizaine d'acides aminés, on parle de peptides. Beaucoup d'hormones s'y rangent. Les acides aminés, enfin, se trouvent sous forme isolée ou modifiée dans nos tissus.

On peut comparer les protéines à des mots de plusieurs milliers de lettres, écrits à partir d'un alphabet de vingt signes : les acides aminés.

C'est l'ensemble des peptides, des acides aminés et des protéines (celles-ci étant quantitativement majoritaires), qui constituent les protides.

Il s'agit d'un groupe de composés dont l'implication dans les phénomènes énergétiques, à l'inverse des glucides et de la plupart des lipides, se révèle mineure. En nutrition de l'effort, et plus particulièrement dans les disciplines dites d'endurance, on s'y intéresse davantage depuis une dizaine d'années, attitude rompant avec une période où les considérations des spécialistes ne les concernaient guère. Ce relatif désintérêt tenait à plusieurs causes :

- l'apport de protides en quantité suffisante, même s'ils en faut davantage en raison des phénomènes physiologiques associés au sport, se réalise en général sans problème lorsque les sportifs ne restreignent pas leurs apports énergétiques,
- les besoins caloriques recevaient toute leur attention.

Les choses ont sensiblement évolué depuis qu'on envisage les apports nutritionnels du sportif plus seulement sous l'angle de l'énergétique, mais qu'on y englobe également tout ce qui a trait aux besoins plastiques, c'est-à-dire à ce qui concerne l'entretien, le renouvellement des tissus et le déroulement des différents processus. Or sur ce plan les protides jouent un rôle essentiel :

- sur le plan structurel, ils constituent la charpente de nos tissus,
- sur le plan fonctionnel, ils se présentent comme des outils de haute précision : les enzymes, les sucs digestifs, les hormones, la transmission de l'influx nerveux, la création de mouvement (par les éléments contractiles des fibres), le transport (par l'hémoglobine du sang) ou la défense contre les microbes requièrent tous la présence effective de protides. Chez un homme de corpulence normale (15% de masse grasse), les protéines représentent 17% du poids du corps.

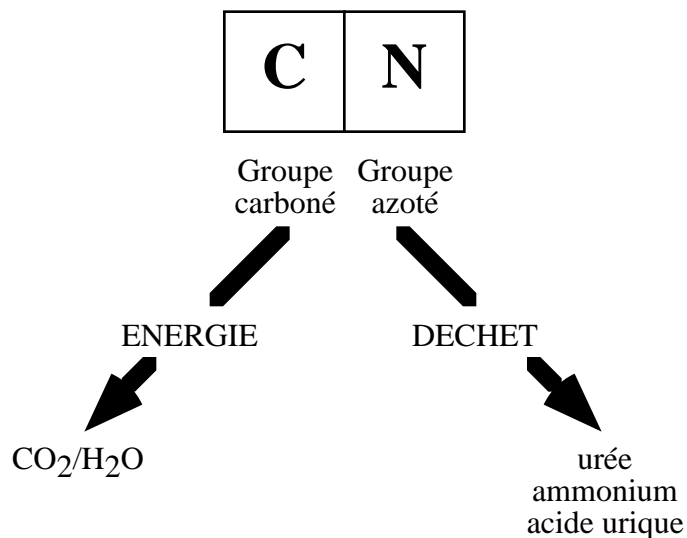
En cas d'activité physique, les modifications qui surviennent, notamment celles d'ordre hormonal, font que certains acides aminés peuvent aussi apporter un complément d'énergie. Ce détournement réduit leur contribution aux deux autres fonctions.

Les protéines proviennent d'une double origine, notre alimentation d'une part, et la synthèse dans nos tissus (qualifiée d'endogène) d'autre part, et cette situation conditionne la nature des besoins en protides, à la fois quantitatifs (combien en faut-il ?) et qualitatifs (les besoins varient-ils selon les acides aminés) ? Ce dernier aspect se révèle d'une extrême importance, compte tenu de l'existence d'acides aminés essentiels, ainsi qualifiés du fait que l'organisme se montre incapable d'en effectuer la synthèse.

### 3.1. Les besoins protidiques

Tous les jours, une partie des protéines corporelles se renouvellent. Les acides aminés qui les composent sont réutilisés, certains font l'objet d'une dégradation aux multiples conséquences métaboliques. Chaque acide aminé se compose en effet de deux parties (voir la figure 10) :

- Une partie carbonée», dont une portion est commune aux différents acides aminés et dont une autre se révèle différente pour chaque acide aminé. Elle peut entrer dans les processus énergétiques où son utilisation aboutit à la formation de glucose ou d'acides gras.
- Une partie propre à ces nutriments, dite azotée, que les protides sont les seuls à comporter. Elle englobe un atome d'azote, élément particulier qui embarrasse notre organisme. Pour l'éliminer il l'intègre à divers déchets tels que l'urée, l'ammonium ou l'acide urique rejetés dans l'urine.



Structure simplifiée des acides aminés

On comprend, face à ce processus de renouvellement, la nécessité de trouver chaque jour des acides aminés pour remplacer tous ceux perdus. Où les puise-t-on ? Certains d'entre eux sont fournis à la fois par nos tissus, dotés des enzymes permettant de les fabriquer, et par nos aliments. On parle à leur sujet d'acide aminé non essentiels. Neuf autres ne peuvent par contre pas faire l'objet d'une synthèse, et nous placent pour cela en totale dépendance vis-à-vis de notre alimentation. Il s'agit des acides aminés essentiels. Ces neuf acides aminés essentiels sont : la leucine (abrégée Lcu par les biochimistes), l'isoleucine (Ile), tryptophane (Trp), la thréonine (Thr), la lysine (Lys), la méthionine (Met), la phénylalanine (Phe) et un que chez les enfants, l'histidine (His).

Les protéines figurant dans notre ration ne se retrouvent pas telles quelles dans nos tissus. A l'image d'un mannequin qu'on déshabille puis qu'on revêt, toutes les protéines et tous les peptides de notre alimentation se scindent complètement en leurs acides aminés constitutifs au cours de la digestion. Ceux-ci gagnent alors la

circulation où ils rejoignent ceux libérés à partir des protéines quotidiennement dégradées, et de là entrent dans les tissus où des synthèses se déroulent. Une partie des acides aminés et des fragments des protéines rompues quotidiennement sont éliminées chaque jour, ce qui explique que notre ration doit fournir chaque 24 heures une quantité minimale de protides.

Cette nécessité définit les besoins quantitatifs en protides.

Ces acides aminés fournis par nos repas et ceux délivrés par la dégradation des protéines constituent un "bassin" où on puise des éléments pour élaborer de nouvelles chaînes. Le bon déroulement des différentes synthèses requiert la présence simultanée de tous les acides aminés aux quantités désirées. Celles-ci varient pour chacun. Les synthèses protéiques n'imposent pas chaque acide aminé en proportion constante. Pour tous, il existe un taux optimal, un pourcentage idéal qui permet le parfait déroulement des synthèses.

S'il en manque un, ou si l'un d'eux figure à un taux trop faible, la synthèse s'arrête. L'absence ou un apport insuffisant d'acides aminés altère ce processus, et par suite le fonctionnement de notre organisme.

Des phénomènes aussi vitaux que la défense immunitaire, le transport de gène, la cicatrisation, l'entretien de la masse musculaire peuvent perdre en efficacité en cas de déficit en acides aminés essentiels.

On peut ingérer beaucoup de protéines et souffrir de carences. Il en va ainsi si on choisit exclusivement des protéines d'origine céréalière ou si on ne se nourrit que de légumes secs. On peut également consommer une quantité minimale de protéines mais, en privilégiant celles qui contiennent l'ensemble des acides aminés essentiels et à une teneur élevée et grâce à cela on peut équilibrer son bilan protéique, c'est-à-dire les pertes quotidiennes. Qualité et quantité des apports protéiques constituent deux critères relativement indépendants, même si en apportant au moins 1 g/kg de poids et par jour de protéines, dans le cadre d'une alimentation diversifiée, on satisfait les besoins dans la plupart des cas et même si, à l'inverse, des apports protéiques trop faibles exposent davantage à un risque de déficit en un ou plusieurs acides aminés essentiels.

En résumé, manger beaucoup de protéines ne permet pas forcément de satisfaire l'ensemble des besoins en acides aminés essentiels, en particulier chez les sportifs ou ceux qui suivent un régime sévère.

### 3.2. La valeur biologique des protéines

L'idéal, pour que l'intégralité des synthèses puisse se dérouler, serait que le mélange des protéines alimentaires ingérées satisfasse les besoins journaliers. Les nutritionnistes, dans le prolongement de cette réflexion, se sont demandés dans quelle mesure les diverses sources alimentaires de protides pouvaient individuellement contribuer à cette demande. Ceci les a conduits à regarder si une portion de boeuf ou d'oeufs pouvait fournir les acides aminés essentiels nécessaires. Pour hiérarchiser les sources alimentaires de protides, ils ont défini une "protéine idéale", qui contiendrait les neuf acides aminés essentiels en proportion harmonieuse. Du fait qu'elle couvrirait 100% des besoins en chacun de ces neuf éléments, on lui a donné l'indice chimique "100". Tout aliment dont la composition en acides aminés se rapproche de cet idéal constitue une source de bonne qualité, dotée d'un bon indice chimique. En pratique, quel aliment en

possède la meilleure valeur ? Il s'agit du blanc d'oeuf, dont l'ovalbumine (protéine constitutive) fournit l'ensemble des acides aminés essentiels aux taux les plus proches des apports recommandés. Cette source de protéines peu coûteuse devance dans l'ordre les chairs animales et les laitages, alors que les végétaux dans leur ensemble, qu'il s'agisse des céréales ou des légumes secs, se caractérisent par des déficits. Dans le cas des premiers (blé, riz, etc.), c'est la "lysine" qui fait défaut. Chez les seconds (lentilles, haricots, pois chiches), c'est la "méthionine" qui manque.

On pourra avec succès reconstituer un jeu avec les deux précédents qui sont dépareillés, puisque leurs manques respectifs se compensent. Sur le plan alimentaire, on procède à une démarche comparable lorsqu'on marie deux sources de protéines végétales. Ainsi, en associant des légumes secs et des céréales (pois chiches et semoule par exemple) ou des laitages et des céréales, on parvient à satisfaire la couverture des besoins en acides aminés. Pour les protéines végétales, l'union fait donc la force.

Autre élément permettant de juger de la qualité d'une source de protéines, sa teneur dans l'aliment considéré. Dans le cas des chairs animales, celle-ci varie entre 15 et 25%, taux qui excède celui relevé dans les sources végétales (cf : tableau). Ce critère aide à choisir les aliments de façon à couvrir les besoins en protides.

<b>Chairs animales</b>		<b>Végétaux</b>		<b>Laitage</b>	
Thon	25	Algues	7-10	Bleu	24
Poissons (sauf thon)	18	Levure	43	Chèvre	16-33
Abats (sauf foie)	15	Légumes secs (cuits)	88	Cantal	23
Bœuf-veau	20	Germes de blé	29	Hollande	20
Cheval	21	Pain	7-8	Gruyère	29
Foie	20	Millet (cru)	12	Roquefort	23
Ris de veau	20	Germes de soja	8	Camembert	29
Lapin	22	Maïs	3	Parmesan	40
Mouton-agneau	15	Pâtes, couscous	2-5	Yaourt	4-8
Porc	15	Riz	2-4	Fromage blanc	8
Charcuterie	23	Fruits	1,5	Lait	3,5
Jambon (sauf maigre)	20	Choux	3		
Volailles	21	Petit pois	2,3		
<b>Oeufs</b>				<b>Fruits de mer</b>	
Entiers	12,8	Cacao	10	Coquillages	15
Blancs	13	Légumes verts	1-3	Crustacés	20
Jaune	15,8	Pomme de terre	2	Mollusques	15-20
		Oléagineux	20		

### 3.1.1. Les besoins en protéines pour les activités d'endurance

A combien chiffre-t-on les apports minimaux de protéines quotidiennement nécessaires ? Par le passé, quand on mettait l'accent sur la notion de valeur calorique de la ration, on exprimait par un pourcentage de l'apport énergétique total la quantité de protéines requise. On le chiffrait ainsi entre 12 et 15 %, tout en sachant que l'énergie effectivement consommée par nos tissus ne provenait pas des protéines. Compte tenu des rôles plastiques prédominants de ces nutriments, on exprime désormais ces besoins en g/kg de poids et par jour, ce qui traduit mieux les phénomènes physiologiques en jeu. On considère qu'un apport compris entre 1 et 2 g/kg.j devrait suffire aux adeptes des sports d'endurance en période d'entraînement, à condition bien sûr d'ingérer par ailleurs suffisamment d'énergie, en particulier sous forme de glucides. Ces besoins légèrement supérieurs à ceux des sédentaires s'expliquent en partie par l'utilisation partielle de certains acides aminés à des fins énergétiques, par les perturbations hormonales survenant en réponse à l'entraînement et qui favorisent le catabolisme et enfin, dans le cas des athlètes ou triathlètes, en raison de l'onde de choc apparue à chaque impact du pied sur le sol et susceptible de léser les protéines contractiles des fibres. L'importance de ce phénomène s'évalue désormais bien grâce à une particularité biologique. Un acide aminé particulier, l'histidine, fait l'objet d'une transformation lorsqu'elle entre dans la structure de ces

protéines contractiles qui sont l'actine et la myosine. Elle devient la *3-méthyl-histidine* que notre organisme ne sait pas recycler. Autrement dit, lorsque ces protéines se rompent, cet acide aminé transformé se trouvera libéré dans le sang et passera dans urines, où son taux rendra alors compte de la réalité de cette anomalie. Or on a constaté que ce paramètre augmentait très nettement à l'occasion de séances particulières (sorties prolongées, sessions comportant des passages de course en descente) ou comme les marathons ou les triathlons. On a également observé ce phénomène plus récemment au terme de séances de musculation. Ce témoin de la dégradation des fibres musculaires indique la nécessité d'un apport protéique compensatoire, tant sur le quantitatif que sur celui de la qualité.

La casse occasionnée au niveau musculaire fait des marathoniens des sujets dont les besoins protéiques sont égaux à ceux des culturistes.

### 3.1.2. Les besoins en protides en musculation

Le travail de musculation constitue un cas particulier : on sait ainsi, comme le rappelait récemment Xavier Bigard dans un article de synthèse très complet que les adeptes des sports de force et du culturisme ingèrent d'abondantes quantités de protides (protéines, hydrolysats de protéines, acides aminés), et il ne fait aucun doute à leurs yeux que cet apport excessif favorise le développement de la masse musculaire et participe à l'amélioration des performances. Ils exagèrent certes le recours aux protides, puisqu'en dépassant allègrement des chiffres de 4 g/kg.j, ils s'exposent à des désagréments. Toutefois quelques travaux ont établi qu'un apport protéique très supérieur aux recommandations (de l'ordre de 3 g/kg.j), permettait de maintenir une balance azotée très largement positive sur une longue période. Ce contexte, dans le cadre de l'entraînement, optimise le gain de masse et de force recherché dans le cadre d'un cycle de musculation. En pratique, on peut donc recommander une majoration des apports protéiques, mais l'idéal consiste à y associer des glucides. Une récente étude a montré que l'imprégnation hormonale nécessaire à la synthèse protéique, observée à l'issue d'une séance de musculation, pouvait être modulée par la nature des aliments apportés immédiatement après : des suppléments à base de glucides (1,5 g/kg) ou mixtes (1,06 g/kg de protéines et 0,4 g/kg de glucides) créent un environnement favorable à l'anabolisme protéique musculaire (élévation immédiate du taux d'insuline et différée de celle de l'hormone de croissance). Dans le cadre des sports d'endurance, on réduira la teneur en protides et on majorera la part de glucides.

En pratique, lors d'un cycle de musculation, on recommandera un apport mixte de protéines et de glucides après la séance. Pour un sujet de 70 kg, on fournira de 50 g de protéines et 50 g de glucides.

### 3.1.3. Le cas des régimes amaigrissants

Cette recommandation d'apports situés entre 1 et 2 g/kg.j vaut-elle aussi pour un régime amaigrissant, se caractérisant par une restriction des apports caloriques ? La mise en place d'un programme alimentaire a pour but de forcer l'organisme à tirer son énergie de ses graisses de réserve. Mais les phénomènes

métaboliques et hormonaux consécutifs à cette stratégie alimentaire peuvent aussi conduire au détournement d'une partie des acides aminés corporels, qui apporteront un complément d'énergie.

Dans le cas du jeûne "vrai", excluant toute prise d'aliments, ce processus revêt une ampleur extrême, les muscles puis les organes vitaux se consumant peu avant que la mort survienne. Un régime bien conçu doit éviter la mobilisation exagérée des protéines corporelles. Un jeûne dit "protéiné" n'autorisant sous suivi médical que l'ingestion de protéines de haute valeur biologique, se révèle par contre viable et relativement bien toléré sur une courte période.

Lorsqu'on ingère insuffisamment de glucides, et que la demande en énergie se situe à un niveau très élevé, le même phénomène de mobilisation des acides aminés peut conduire à leur détournement exagéré pour l'apport d'énergie. Les fibres utiliseront plus spécialement trois acides aminés essentiels, dont la nature permet une satisfaction rapide des besoins énergétiques. On les nomme les "ramifiés", en raison de leur structure chimique. Leur contribution augmente dès que les réserves de glycogène chutent. Le cas typique est celui d'un athlète qui entame une séance avec des stocks de glycogène trop bas et les tarit prématurément. Ces acides aminés peuvent alors contribuer à hauteur de 12% à l'apport d'énergie lors de l'activité, ce qui influera évidemment sur les besoins protéiques ultérieurs. Il s'ensuivra un ralentissement des synthèses, à l'origine de la fonte musculaire de certains sportifs trop entraînés.

Un régime pauvre en glucides, restreint en énergie, et le jeûne accroissent les besoins en protides.

Exemple :

Un athlète de 70 kg effectue une séance longue avec des réserves de glycogène non saturées. Il couvre 18 km, ce qui correspond à une dépense d'énergie de  $18 \times 70 = 1\ 260$  calories.

Si 10% de cette énergie est tirée de l'utilisation "parasite" des acides aminés, un rapide calcul nous montre que la quantité ainsi détournée se monte à 31 g.

Quand on sait que pour ce sportif, les besoins protéiques se situent entre 105 et 140 g/j (1,5 à 2 g/kg.j), on constate que cette simple séance majore les besoins en acides aminés de près d'un quart. En fait, cette augmentation se produit de manière très inégale, une catégorie de trois acides aminés essentiels, les ramifiés, intervenant à plus de 90% dans ce processus, ce qui contribue à en tripler les besoins dans ce contexte. Une mise en réserve accrue de glycogène aurait presque totalement évité cette anomalie.

#### 3.1.3.1. Les acides aminés ramifiés

Ils activent la synthèse protéique, favorisant ainsi un processus dont ils sont également les acteurs. Divers travaux ont d'ailleurs montré que leur administration pouvait donner lieu, chez des adeptes des sports de force, à la fabrication de nouvelles protéines alors que chez des marathonniens en situation de catabolisme, leur consommation accélérerait la réparation des tissus lésés. En altitude, cette propriété se révèle très bénéfique.

Leur administration prévient également la chute du taux d'un autre acide aminé, non essentiel, mais qui occupe une place majeure dans le métabolisme du système immunitaire. Il se nomme la glutamine. Diverses études suggèrent que la teneur de cet acide aminé non essentiel peut s'abaisser au décours

d'efforts prolongés ou dans des situations de surentraînement et de fatigue chronique. Les voies de synthèse n'assurent plus sa formation à une vitesse et en quantité suffisantes dans ces conditions. La préconisation préventive et curative d'acides aminés ramifiés restaure le niveau sanguin de la glutamine et par suite l'activité protectrice des globules blancs. De récents travaux indiquent de surcroît que l'apport combiné de ramifiés et de glutamine se traduirait par une action encore plus marquée. En effet, la glutamine ainsi fournie restaure l'intégrité de la muqueuse intestinale, voie de passage de certains microbes, tout en optimisant l'action des ramifiés sur les globules blancs. Un travail récent montre que l'apport de la seule glutamine abaisse le risque d'infection après un marathon.

Leur prise en cure préalablement à un effort de longue durée accroît l'aptitude du muscle à neutraliser les déchets acides. Cette aptitude a reçu le nom de pouvoir tampon. Il peut s'agir d'une propriété très intéressante dans le cadre du demi-fond, par exemple, ou d'activités combinant force et vélocité (contre-la-montre en vélo, ski de fond, etc ...).

Enfin, leur administration évite les modifications hormonales défavorables qui surviennent après un effort intensif, et qui donnent lieu à une fonte musculaire accrue. Sur le plan biologique, cette altération résulte d'une chute du quotient testostérone/cortisol, qui traduit la force des processus anaboliques comparativement au catabolisme. On comprend évidemment la portée d'une telle action des ramifiés dans le cadre de la prévention du dopage.

Les quantités à apporter doivent rester très modestes, de l'ordre de 3 à 10 g de ramifiés par jour.

### 3.1.3.2. L'optimisation de l'action des ramifiés

Cette démarche doit s'entreprendre en regard des charges d'entraînement et des objectifs de l'athlète. Rien ne sera aussi inutile qu'une ingestion en aveugle, sans stratégie globale, sans programmation ni définition d'objectifs précis. Si on porte un regard plus synthétique, on constate qu'un certain nombre de situations nécessitent l'apport de ramifiés :

- En cure quotidienne les deux dernières semaines qui précèdent un marathon.
- En cure après une blessure musculaire, ceci afin de prévenir le catabolisme au sein des fibres.
- Lors d'un cycle de musculation, après chaque séance et le lendemain de celles-ci.
- En ingestion quotidienne lors de courses par étapes ou à l'occasion de raids en altitude.
- En récupération après une séance longue, de façon à prévenir la chute des défenses immunitaires, anomalie fréquente dans ces conditions.
- En récupération dans les 24 à 48 heures qui font suite à une épreuve, car il s'agit de la période où le catabolisme est au maximum. En intervenant à l'origine de ces processus, on en limite l'ampleur et on freine l'accumulation de déchets azotés (urée, ammonium, acide urique, etc.). La récupération s'en trouve accélérée.
- Lors d'un régime amaigrissant, leur introduction à la ration peut également se révéler bénéfique, comme une très récente publication du groupe du CERMA l'a montré. Comparativement à un

régime hypocalorique riche en protides (25% de l'énergie), à un autre hypocalorique et riche en glucides, ou enfin à un régime hypocalorique pauvre en protéines, il permet une perte de masse grasse plus importante, une meilleure préservation de la force et de  $VO_2$  max, ce qui signifie qu'il diminue les réserves adipeuses sans affecter le potentiel athlétique. Ceci tiendrait à une balance azotée demeurant équilibrée avec l'apport de ramifiés.

- En revanche, l'apport de ramifiés en cours d'effort, seul ou combiné à des glucides, n'a jamais influé favorablement sur la performance. Certaines études se sont même soldées par une augmentation plus nette du taux d'ammonium, déchet azoté qui résulte de l'utilisation accrue des ramifiés et susceptible de perturber le fonctionnement de certains tissus. Toutefois, certains chercheurs spéculent sur l'idée suivante. En maintenant l'équilibre entre les différentes catégories de neurotransmetteurs, l'apport de ramifiés en cours d'exercice pourrait prévenir les épisodes de fatigue cérébrale. Une telle éventualité dépendrait de bien d'autres facteurs, tels que l'apport de glucides avant et pendant l'activité, d'hypothétiques sensibilités individuelles, mais à l'heure actuelle il paraît hasardeux de s'aventurer armé de certitudes sur cette voie certes prometteuse.

Une prise de ramifiés avant une compétition ou une séance qui traumatise le tissu musculaire, combinée à une ingestion suffisante de glucides la veille de la sortie et au cours de celle-ci, assurent la préservation de la masse musculaire.

#### 3.1.4. L'arginine

Les avis, quant à son intérêt réel, se montrent plus partagés que pour les ramifiés.

La polémique à son propos est née il y a une trentaine d'années lorsqu'on s'est mis à étudier l'influence favorable des protides sur la libération de l'hormone de croissance (GH). Initialement cantonné au domaine de la pathologie hypophysaire, ce domaine d'investigation s'est vite élargi aux adeptes du culturisme, puis à l'ensemble des disciplines sportives pour lesquelles la force et la vitesse constituent des critères de réussite. Par perfusion, on a administré une série d'acides aminés, et de tous l'arginine est celui qui a le plus semblé favoriser la libération de GH. Séduits par cette découverte les scientifiques ont dû vite déchanter. Cette modification ne s'accompagnait pas d'effets physiologiques notoires, sauf chez les sujets les plus âgés, les prépubères, les personnes souffrant de pathologies glandulaires ou les individus malnutris. Mais chez des sportifs d'âge adulte bien nourris, la prise d'arginine n'active pas davantage la libération de GH qu'une préparation de sérum physiologique. En clair, l'effet est nul. Cet acide aminé présente cependant d'autres avantages nutritionnels ; il active la synthèse protéique, ce qui peut se révéler très intéressant après un effort intensif provoquant des destructions de structures musculaires. En outre, il favorise la formation d'urée, forme de déchets permettant à l'organisme de se débarrasser d'une molécule très toxique, l'ammonium, formée lors d'efforts très intensifs. Pour assurer une efficacité maximale à ce processus d'épuration, elle stimule ce dernier. Par ailleurs, elle sert de précurseur à un composé très important, qui intervient comme carburant des fibres rapides, et nommé la créatine. Enfin, comme l'ont

montré les travaux initiaux que lui a consacrés le professeur Jean Vague, l'arginine améliore la qualité du sommeil, propriété elle aussi à mettre à profit dans le cadre de la récupération.

### 3.1.5. L'acide aspartique

Sa structure particulière lui permet de figurer à différents niveaux du métabolisme. Son squelette carboné peut intervenir comme modulateur de réactions importantes. Il lui permettrait ainsi de limiter l'accumulation d'acide lactique. Certains ont en outre évoqué la possibilité qu'il freine l'utilisation du glycogène lors d'exercices à intensité soutenue. Mais cette hypothèse ne s'est jamais trouvée confirmée par la moindre étude.

Ses caractéristiques chimiques lui permettent surtout d'accepter des résidus d'ammonium ( $\text{NH}_3$ ) forme très toxique de déchet, qui s'accumule en cas d'exercices maximaux ou prolongés, mais dont la persistance dans nos tissus (parfois de l'ordre de plusieurs jours), peut affecter le fonctionnement de certains organes et favoriser la survenue de pathologies. Avec l'arginine, ils constituent les deux acides aminés susceptibles d'aider à neutraliser plus vite cette toxine. A l'instigation d'Henri Laborit, dès 1958, on l'a fort logiquement testé dans diverses expériences, aux résultats contrastés : comme le notait récemment Trudeau dans son article de synthèse, "le moins qu'on puisse dire est qu'il n'y a pas d'unanimité sur l'effet ergogène des sels d'aspartate. Les études répertoriées comportent autant de résultats négatifs sur l'endurance que de positifs". Dans ce dernier cas, l'amélioration observée ne semble pas liée à la dose des sels d'aspartate, et semble résulter d'une meilleure récupération. L'ingestion d'aspartate s'accompagne d'une moindre élévation de l'ammonium lorsque l'intensité de l'activité dépasse 75% du maximum, et évidemment le bénéfice s'avère d'autant plus important que l'effort est plus intense, même si dans le cas d'exercices très anaérobies, l'afflux d'acide et d'ammonium, véritablement exagéré, ôte tout intérêt à ce produit. Inversement, lors d'un effort peu soutenu (60% du maximum dans les études en question), l'apport d'Asp reste sans effet, ce qui apparaît tout à fait logique puisque la formation de cette toxine est alors minimale. Son cadre optimal d'intervention se situe donc lors d'exercices dont l'intensité varie entre 70% et 100% de  $\text{VO}_2$  max. Certains chercheurs ont essayé avec succès de fournir cet acide aminé en récupération, mais il ne s'agit pas encore d'une pratique routinière. La législation en vigueur en France, par exemple, ne permet pas l'ajout isolé d'acides aminés libres à des préparations énergétiques.

### 3.1.6. Le tryptophane

Quelques auteurs ont envisagé de l'apporter en cours d'effort, justifiant cette démarche par le fait qu'il se transforme, dans notre cerveau, en un neurotransmetteur nommé la sérotonine. Celle-ci module de nombreuses fonctions cérébrales, son action allant en général dans le sens d'un apaisement, totalement aux antipodes des caractéristiques de l'adrénaline par exemple. Elle a un effet analgésique, rassasiant, mais favorise également le sommeil. Considérant que son taux chutait lors d'efforts de longue durée et que cette

anomalie pourrait occasionner une fatigue précoce, plusieurs équipes ont proposé d'en fournir en cours d'activité. Cette tentative s'est en général soldée par un échec.

La nature des apports alimentaires à envisager pour restituer l'équilibre entre les différentes familles de neurotransmetteurs fait l'objet de nombreuses spéculations, recèle de nombreuses zones d'ombre, mais paradoxalement une des hypothèses les plus sérieuses, dégagée ces dix dernières années, attribue en fait à l'élévation du taux cérébral de tryptophane une forte responsabilité dans la survenue de fatigue mentale à l'effort. Son apport sous forme de supplémentation ne se justifie en tout cas pas.

### 3.1.7. L'acide glutamique

A l'instar de l'acide aspartique, il peut fixer un radical  $-NH_3$  et ainsi contribuer à la détoxification des tissus. Un travail ayant consisté à en fournir en double aveugle a montré que son ingestion, comparativement à un placebo, s'est accompagnée d'une élévation de l'ammoniémie inférieure de 10%, lors d'un exercice effectué au niveau du seuil anaérobie. La fixation de cet ammonium sur l'acide glutamique donne de la glutamine, utilisable par les cellules intestinales et celles du système immunitaire. Ce mécanisme constitue le principal moyen dont dispose notre organisme pour éviter l'accumulation de l'ammoniac dans le cerveau, où il se révélerait toxique. Sa combinaison à l'arginine, du moins chez le rat, exerce une action de neutralisation encore plus efficace que l'aspartate. Mais chez l'homme son ingestion risque de provoquer des intolérances chez une forte proportion de sujets, en raison de son statut de précurseur de neurotransmetteur. Ce danger potentiel est rappelé par le problème du "syndrome du restaurant chinois", observé chez des individus ayant ingéré de la cuisine extrême-orientale où le glutamate sert de condiment. Son utilisation systématique nous paraît donc pour l'instant inapproprié, et de toute façon la législation des produits diététiques ne le permet pas.

## 3.2. Les sources de protéines

En combinant des sources de protéines d'origines différentes, même de qualité médiocre, on peut parvenir à couvrir l'intégralité des besoins en acides aminés. Peut-on pour autant exclure totalement certaines catégories d'aliments, et opter par exemple pour le végétarisme sans crainte ? Les protéines d'origine végétale peuvent se compléter de manière à fournir tous les acides aminés en proportion optimale, mais elles conservent le handicap d'une moins bonne assimilation, sans doute en raison de la présence, au sein des végétaux, d'autres constituants qui entravent le passage des acides aminés vers les cellules intestinales. Cette particularité impose qu'on augmente la quantité de protéines ingérées.

En outre, même si sur le plan théorique on peut totalement exclure les chairs animales sans le moindre risque de déficit en protides, on juge préférable d'en conserver un minimum dans sa ration, et d'en diversifier autant que possible les sources. Pourquoi?

Hormis le sucre blanc (pur glucide) ou l'huile (pur lipide), aucun aliment ne se compose d'un seul nutriment, et à côté des protéines qu'il renferme, chaque denrées a ses particularités nutritionnelles. L'adoption d'un régime trop monotone peut conduire aussi bien à des carences qu'à des excès.

<b>Aliment</b>	<b>Avantage</b>	<b>Inconvénient</b>
Poisson	Peu de lipides Iode (poisson de mer)	Pas de calcium, ni de magnésium
Abats	Peu de lipide Fer dans le foie	Acide urique Cholestérol Pas de calcium, ni de magnésium
Viandes	Fer, zinc	Taux de MG variable Pas de calcium, ni de magnésium Possible : déchets
Charcuterie	Fer, zinc, vitamine B1	Lipides Pas de calcium, ni de magnésium Déchets
Jambon	Fer, vitamine B1	+ ou - de lipides
Fruits de mer	Minéraux, peu de lipides	Parfois acide urique
Oeufs	Fer (jaune) Pas de lipides (blanc) Vitamines (jaune)	Lipides (jaune) Peu de fer et de zinc Pas de calcium, ni de magnésium
Laitages	Calcium, zinc	+ ou - de lipides Pas de fer, ni de magnésium
Légumes sec et soja	Pas de lipides Fer, zinc, magnésium Vitamine B1, glucides	Pas de calcium Qualité médiocre (déficit en un aa) Pas de vitamine B12
Germes de blé et levure	Vitamines, minéraux	Pas de vitamine B12

	Peu de lipides	
Céréales	Glucides à faible index Peu de lipides Magnésium, zinc, fibres	Qualité moyenne (déficit en un aa) Pas de calcium, fer mal assimilé Pas de vitamine B12

Si on abandonne totalement les laitages pour ne manger que de la viande ou du poisson, ce choix revient à délaisser les meilleures sources de calcium, alors que l'option inverse (la consommation exclusive de produits laitiers), amène à se passer de bonnes sources de fer et à développer peu à peu une carence martiale. L'équilibre nécessite de manger des deux en quantité raisonnable, et selon une combinaison et une chronologie appropriées.

Autre situation commune, que se passe-t-il si on mange trop de viande ? Si on en prévoit à ses menus midi et soir, on va allègrement dépasser la ration protéique maximale recommandée, de l'ordre de 2 g/kg.j. Diverses perturbations peuvent s'ensuivre, notamment une possible augmentation de l'acidité des tissus et du sang chez des individus chroniquement hypercarnivores. Des déchets tels que l'acide urique vont augmenter à des taux pathologiques, d'autant que l'exercice intense peut également perturber transitoirement ce paramètre. Une portion quotidienne de viande ou d'un équivalent (poisson, volaille) s'avère suffisante pour l'obtention d'une ration équilibrée. On essaiera, en pratique, de mettre en application les règles suivantes :

- L'apport protéique animal non laitier doit représenter entre le tiers et la moitié du total quotidien.
- Les laitages devraient apporter environ le 1/4 de l'apport protéique journalier.

### 3.3. Le bilan protéique

Le problème des apports protéiques revient à solutionner la question suivante : compense-t-on les pertes de la journée ou non ? Lorsque les quantités fournies s'avèrent supérieures à celles qu'on a éliminées, le bilan est positif et cela peut s'accompagner, si on y couple un travail de musculation adapté et un apport de ramifiés, d'un gain de masse maigre. A l'inverse, certaines situations donnent lieu à un bilan négatif pouvant provoquer une perte de masse musculaire :

- Quand on ingère trop peu d'énergie une partie des acides aminés, par l'intermédiaire de leur partie carbonée (C), va assurer un apport calorique complémentaire. Il va en résulter un surcroît de résidus azotés à éliminer (partie N), et les teneurs en déchets vont s'élever. Leur caractère en général acide va perturber le bon déroulement de certains processus, en particulier chez le sportif. Paradoxalement, cet engorgement par les toxines azotées s'observe aussi lorsqu'on adopte un régime hyperprotéique ou un jeûne protéiné. Pourquoi ? Les protéines ne se stockent pas; une fois les besoins couverts et les synthèses assurées, l'excédent risque d'intégrer les voies énergétiques. Si l'alimentation fournit par ailleurs des

lipides et des glucides simples, cette contribution des acides aminés à la fourniture d'énergie va favoriser une épargne des graisses de réserve.

- En cas d'effort intense, par exemple à l'occasion de compétitions ou de sorties qualitatives, des modifications hormonales et des perturbations mécaniques surviennent. Elles vont conduire à l'utilisation accrue de certains acides aminés, les ramifiés principalement, ainsi qu'à la destruction de structures protéiques cellulaires. Il en résulte une accumulation de déchets (la partie N des acides aminés utilisés pour l'apport d'énergie), et une prédominance du catabolisme sur les synthèses. Il peut s'ensuivre une perte de masse maigre, une destruction de globules rouges et une baisse du nombre de globules blancs, ce qui impose des mesures diététiques appropriées en récupération.

#### 3.4. En conclusion

Il faut veiller à ne pas consommer trop de protéines, même si les besoins sont accrus par la pratique de sports d'endurance. Ceux-ci produisent deux sortes d'effets :

- une stimulation des synthèses protéiques, principalement au niveau des muscles mobilisés,
- une accentuation des dégradations, qui concernent l'organisme dans son ensemble.

Les besoins en protides (en général) et ceux en certains acides aminés (en particulier), sont donc accrus. Dans certaines situations bien particulières, une supplémentation peut s'avérer nécessaire.