



**HAL**  
open science

# Importance de la nutrition sur les performances sportives

Charlyne Hyvernaud

► **To cite this version:**

Charlyne Hyvernaud. Importance de la nutrition sur les performances sportives. Sciences du Vivant [q-bio]. 2022. dumas-03975480

**HAL Id: dumas-03975480**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03975480v1>**

Submitted on 6 Feb 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**U.F.R. DES SCIENCES PHARMACEUTIQUES**

Année 2022

Thèse n°116

THESE POUR L'OBTENTION DU  
**DIPLOME D'ETAT de DOCTEUR EN PHARMACIE**

Présentée et soutenue publiquement

Par HYVERNAUD, Charlyne

Née le 4 novembre 1996 à Bordeaux

Le 29 septembre 2022

**IMPORTANCE DE LA NUTRITION SUR LES  
PERFORMANCES SPORTIVES**

Sous la direction de : Isabelle PASSAGNE

Président du jury : Madame Baudrimont Isabelle

Membres du jury : Mme LACHEZE Sophie

## Remerciements

**Au jury de thèse,**

*A Madame Isabelle Passagne,*

Pour m'avoir fait l'honneur d'être ma directrice de thèse et pour la qualité de vos enseignements le long de mon parcours universitaire. Recevez ici le témoignage de tout mon respect et de ma reconnaissance.

**A ma famille,**

*A mes Parents,*

Merci pour votre soutien indéfectible qui m'a permis de réaliser les études dont j'avais envie et d'aller au bout. Sans vous, je ne serais pas là. Merci pour votre amour et votre éducation. Merci d'avoir toujours cru en moi, même quand moi je n'y croyais plus. Vous êtes des parents formidables, et je suis fière d'être votre fille.

*A ma famille,*

Oncles, tantes, Grand-mère...

Je vous remercie pour votre affection et tous les bons moments passés avec vous. Avec une grosse pensée pour mon oncle et ma Tante Tatie Lily qui vit des moments difficiles en ce moment. Ainsi que pour ma grand-mère Mamie Jacquotte, qui a toujours eu une pensée pour moi peu importe le moment.

**A mes amis,**

Merci pour votre présence et d'être toujours là pour moi, pour parler sérieusement ou tout simplement pour me changer les idées dans les moments compliqués. Sans vous la vie ne serait pas la même.

## Table des matières



.....	1
<b>Introduction</b> .....	<b>6</b>
<b>I. Alimentation</b> .....	<b>7</b>
<b>A. Généralités</b> .....	<b>7</b>
1. Équilibre alimentaire.....	8
2. Alimentation de base.....	10
<b>B. Bilan balance énergétique</b> .....	<b>12</b>
1. Dépenses énergétiques.....	13
2. Indice de Masse Corporelle.....	15
3. Calcul de la dépense énergétique.....	16
4. Problèmes de disponibilité énergétique.....	18
4.1 Syndrome de RED-S.....	18
4.2 Triade de l'athlète féminine.....	19
<b>C. Apports nutritionnels en macronutriments</b> .....	<b>20</b>
1. Glucides.....	21
1.1 Rôles des glucides.....	21
1.2 Sources de glucides.....	21
1.3 Structures et classifications.....	22
a. Monosaccharides.....	22
b. Disaccharides.....	23
c. Polysaccharides.....	23
1.4 Les fibres.....	24
1.5 Apports recommandés et répartition en glucides.....	25
1.6 Index glycémique.....	25
2. Lipides.....	28
2.1 Rôle.....	28
2.2 Sources de lipides.....	28
2.3 Acides gras.....	29
2.4 Cholestérol.....	30
2.5 Acides gras mono-insaturés.....	30
2.6 Acides gras poly-insaturés.....	30
2.7 Acides gras saturés.....	31
2.8 Apports recommandés et répartition des lipides.....	31
2.9 Qualité des lipides.....	32
3. Protéines.....	32
3.1 Rôle des protéines.....	32
3.2 Sources de protéines.....	33
3.3 Acides aminés.....	33
3.4 Destruction des protéines lors de l'effort.....	34
3.5 Apports recommandés et répartition en protéines.....	35
4. Rôle de l'eau dans le corps humain.....	36
4.1 Répartition de l'eau dans le corps.....	36
4.2 Les sources d'eau.....	37
4.3 Les pertes en eau.....	37
4.4 Importance de l'hydratation.....	38
4.5 Quand boire ?.....	40
4.6 Que boire ?.....	40

4.7 Comment boire ? .....	40
4.8 Risque de la déshydratation chez le sportif .....	41
<b>D. Apports nutritionnels en micronutriments .....</b>	<b>42</b>
1. Vitamines.....	42
1.1 Rôle des vitamines .....	42
1.2 Type de vitamines .....	42
1.3 Importance des vitamines dans les performances sportives .....	44
1.4 Carence en vitamines B pour les sportifs surentraînés et pour les végétariens .....	44
2. Minéraux .....	45
<b>II. <i>Physiologie du Sport</i>.....</b>	<b>47</b>
<b>A. Les effets physiologiques de l'activité physique.....</b>	<b>47</b>
<b>B. Sources d'énergies .....</b>	<b>50</b>
1. Généralités .....	50
2. Réserves glucidiques .....	51
3. Réserves lipidiques .....	52
4. La VO <sub>2</sub> max .....	53
<b>C. Sports de force et sports d'endurance .....</b>	<b>53</b>
<b>III. <i>Alimentation adaptée chez le sportif</i> .....</b>	<b>56</b>
<b>A. Généralités .....</b>	<b>56</b>
1. Principes de base d'une alimentation équilibrée .....	56
2. Équilibre alimentaire .....	58
3. Stratégies nutritionnelles .....	58
4. Fréquence des repas .....	61
<b>B. Glucides chez le sportif.....</b>	<b>61</b>
1. Rôle des glucides sur les performances .....	62
2. Glycogène musculaire .....	63
3. Glycogène hépatique .....	63
4. Nutrition glucidique les jours précédents l'effort physique.....	65
5. Nutrition glucidique avant l'effort physique .....	67
6. Nutrition glucidique pendant l'effort physique.....	68
7. Nutrition glucidique pendant la phase de récupération .....	70
8. Entraînement avec des disponibilités réduites en glucides .....	74
<b>C. Lipides chez le sportif .....</b>	<b>76</b>
1. Généralités .....	76
2. Régimes hyperlipidiques et performances.....	78
<b>D. Protéines chez le sportif.....</b>	<b>80</b>
1. Généralités .....	80
2. Moment adéquat pour la prise de protéines .....	82
3. Sports d'endurance et besoin en protéines .....	83
4. Sport de force et besoin en protéines.....	84
5. Les protéines à consommer .....	86
6. Supplémentation en protéines.....	89
7. Apport en excès de protéines .....	92
<b>E. Le problème de l'inconfort digestif .....</b>	<b>93</b>
<b>F. Conseils pour optimiser les effets de l'alimentation sur les performances.....</b>	<b>95</b>
<b>G. Guide pour adapter l'alimentation à l'effort.....</b>	<b>96</b>
<b>H. Nouvelles stratégies en termes de nutrition sportives.....</b>	<b>99</b>
1. Régime faible en glucides et riches en lipides.....	99
2. Nutrition périodique .....	100

3. Entraînement avec un faible taux de glycogène musculaire et amélioration du métabolisme des graisses .....	104
4. Régime paléolithique .....	106
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>108</b>

## Introduction

L'importance de l'alimentation sur les performances sportives ne date pas d'aujourd'hui. La diététique n'est pas un questionnement qui est propre à notre société actuelle. En effet dès la Grèce antique, la nutrition a été liée aux performances et à la santé. Selon Hippocrate, « Si nous pouvions donner à chaque individu la bonne quantité de nourriture et d'exercice, ni trop ni trop peu, nous aurions trouvé le chemin le plus sûr vers la santé ». Il disait également « Que la nourriture soit ta médecine et la médecine ta nourriture. », et cela il y a plus de 2500 ans.

Dans les années 1800, le terme d'entraînement désignait d'ailleurs, à la fois l'entraînement physique mais aussi le régime alimentaire. Ainsi en 1887, Montague Sherman a écrit dans son livre « Pour l'athlète des premiers temps, la partie essentielle et la principale caractéristique de l'entraînement n'était pas la pratique d'un exercice préparatoire approprié, mais le changement soudain et violent de régime alimentaire ». Bien qu'à l'époque les méthodes de nutrition en vue d'une compétition sportive étaient bien différentes de celles que l'on peut connaître actuellement, on voyait bien que le régime alimentaire et les performances sportives étaient étroitement liés.

Au cours du temps, l'évolution des connaissances et le nombre accru de recherches ont modifié bon nombre de croyances sur l'alimentation. Au départ, on pensait que les protéines étaient le seul carburant, mais on a rapidement découvert que les glucides et les graisses pouvaient servir de carburant et qu'ils étaient utilisés simultanément dans la plupart des situations.

Ainsi de nos jours, nous savons que les glucides et les graisses sont les principaux fournisseurs de carburant et les protéines et les graisses sont les principales briques de construction pour éviter la destruction liée à l'effort musculaire. En ce qui concerne la protection et le bon fonctionnement de notre corps, ce sont les vitamines et minéraux qui s'en chargent.

Le but de ce travail est d'apporter des connaissances en matière d'alimentation et plus particulièrement sur l'alimentation du sportif. En effet, un sportif se doit d'adapter son alimentation s'il veut optimiser ses performances. Pour cela, il se doit dans un premier temps d'avoir un régime équilibré pour ensuite pouvoir procéder à des modifications. Nous aborderons donc les principes de base de l'alimentation puis la physiologie du sport avant d'aborder l'alimentation spécifique du sportif. Ce travail de thèse, s'axera sur les connaissances scientifiques permettant d'adapter l'alimentation en fonction du sport pratiqué, de l'intensité, et selon s'il y a des compétitions en vue ou pas.

## I. Alimentation

Les sportifs toujours en recherche de performances sportives, que ce soit en compétition ou en loisir, peuvent être particulièrement influencés par certains modes actuels en matière de nutrition. Le marché mondial de la nutrition pour sportifs est un marché en pleine expansion. Selon le rapport de Zion Market Research, ce marché mondial s'élevait à 28,37 milliards de dollars en 2016 et a eu un taux de croissance annuel d'environ 8 % entre 2017 et 2022.

En effet, le sportif se demande toujours : « Quelles sont les substances qui peuvent me permettre d'améliorer mes performances sportives ? ». Avec un marketing tourné vers les compléments alimentaires, le sportif se retrouve poussé à la consommation ; ceci étant accentuée par la place dans nos sociétés, des réseaux sociaux et le contenu diffusé sur les plateformes. Mais il paraît légitime de se poser la question d'un réel intérêt de nos performances ou si finalement il n'oriente pas vers une démarche dopante ? Les sportifs reçoivent donc énormément d'informations sur diverses méthodes alimentaires et ils ne sont pas tout le temps en mesure de discerner celles qui sont crédibles.

Les principes fondamentaux d'un programme d'éducation nutritionnelle pour les sportifs devraient apprendre aux sportifs à lire dans un premier temps, les étiquettes nutritionnelles, à trouver des sources crédibles d'informations nutritionnelles et à discerner les conseils alimentaires qui correspondent à leurs besoins spécifiques en matière d'entraînement et de compétition. Il faut alors apprendre à adapter la quantité et la catégorie d'aliments à ingérer pour maximiser les résultats, pour aller vers une alimentation adaptée selon qu'on soit en situation d'entraînement ou de compétition. La modification se fera de façon quantitative et qualitative.

### A. Généralités

L'alimentation du sportif a pour but principal, juste le maintien d'un état de santé optimal. Elle contribue donc à une bonne forme physique. Le sportif la considère trop souvent comme un facteur de performance alors que le respect de règles diététiques simples évite la survenue de contre-performances en garantissant une bonne forme physique. Dans un premier temps, il est important de voir déjà si le sportif possède une alimentation saine car il est avant tout, un actif sédentaire. Il doit donc veiller à son équilibre alimentaire en consommant une grande variété



d'aliments afin de couvrir les différents besoins en éléments nutritifs mais surtout en mangeant en fonction de son niveau d'activité.

## 1. Équilibre alimentaire

L'équilibre alimentaire est obtenu lorsqu'en variant les aliments consommés, on apporte à l'organisme l'énergie et les nutriments nécessaires à son bon fonctionnement. L'acte de s'alimenter conduit donc à un apport suffisant en macro et micronutriments d'un point de vue quantitatif et qualitatif, pour assurer le développement, les différentes activités, la reproduction...

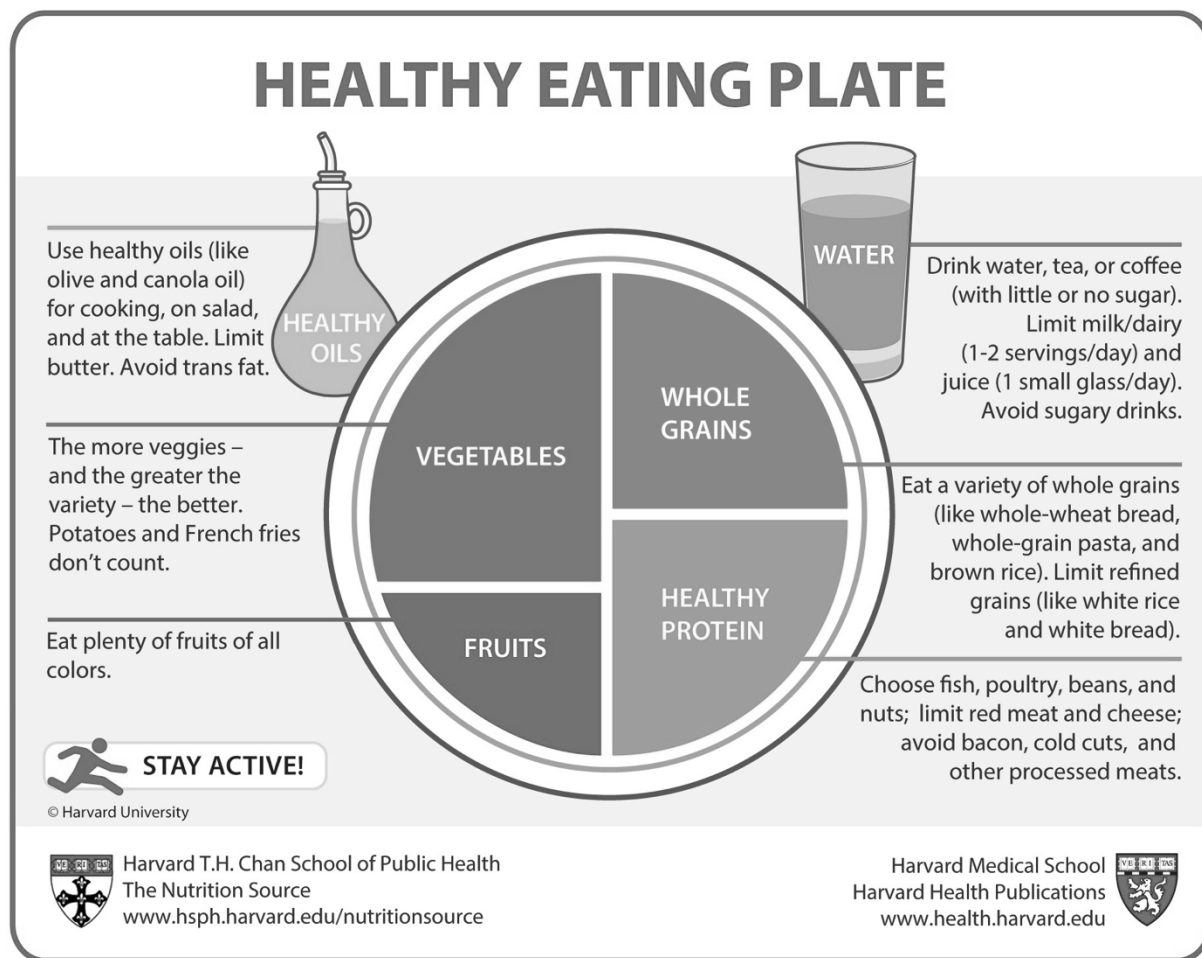
Selon les recommandations de l'ANSES, l'équilibre est atteint lorsque :

- Les glucides représentent 50-55% des apports soit 300-400 gr/j
- Les lipides, 35-40% des apports soit 60-90 gr/j
- Les protéines, 10-20% des apports soit 40-60 gr/j

Dans chaque catégorie d'aliments nous avons une large diversité de macronutriments ou de micronutriments, ce qui permet d'alterner régulièrement le contenu des repas, tout en conservant un équilibre alimentaire adéquat.

Concrètement, par repas cela correspond à :

- < 100 gr de viande/ poissons/ 2 œufs
- 100-200 gr de féculents (3 portions par jour)
- 120 gr de légumes (3 portions par jour dont au moins 1 crue)
- 120 gr de fruits (2 portions par jour)
- 200 ml de lait, 150 gr de yaourt, 200 gr de fromage frais, 30 gr de fromage (2 fois par jour)
- 1 cuillère à café d'huile crue
- 20 gr de noix par jour (1 poignet)



**Figure 1 : Répartition équilibrée d'une assiette (1)**

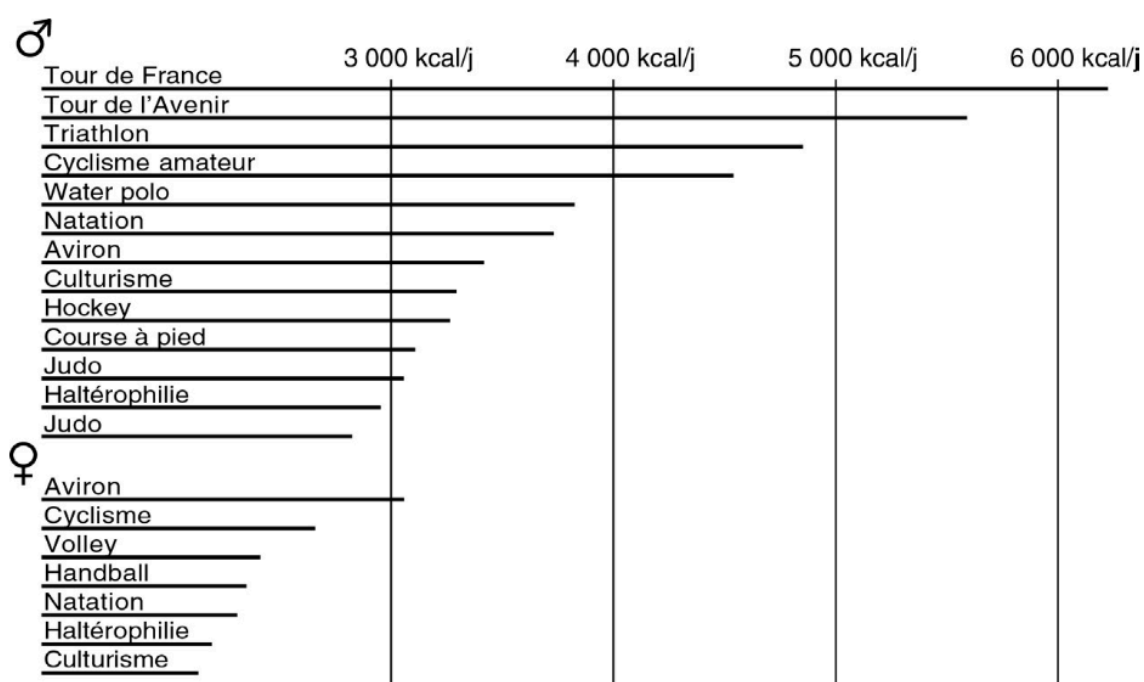
D'une manière générale, pour parvenir à cet équilibre alimentaire, il faut :

- Veiller à l'équilibre entre les macronutriments
- Avoir une diversification alimentaire pour avoir un apport suffisant et complet en micronutriments, minéraux et vitamines
- Faire 3/4 repas par jour avec plusieurs composantes dans l'assiette
- Être attentif ensuite à la balance énergétique : équilibre entre apports et besoins énergétiques

Une fois que l'alimentation de base est posée et que le sportif sait et applique ce qu'est une assiette équilibrée, il est bien évident qu'il y a des adaptations alors à faire pour les sportifs étant donné que d'une manière générale, ils vont avoir besoin de plus, de glucides, de plus de protéines et d'hydratation. En effet, on va envisager d'adapter à l'effort en fonction du type de pratiques sportives.

## 2. Alimentation de base

Le premier élément permettant d'optimiser l'entraînement et les performances est de s'assurer que l'athlète consomme bien suffisamment de calories pour compenser les dépenses énergétiques. C'est pourquoi la composition optimale de l'alimentation d'un athlète dépend du sport qu'il pratique, de la quantité et du type d'entraînement qu'il entreprend, ainsi que de la nécessité pour lui de manipuler son poids ou sa composition corporelle.



**Figure 2 : Apports énergétiques observés chez des sportifs pratiquant des activités d'endurance, de force ou des sports collectifs (2)**

Comme le montre la figure ci-dessus, en fonction du sexe et du type de sport les apports énergétiques seront différents. En effet, pour un athlète homme réalisant le tour de France, son apport énergétique sera supérieur à 6000 kcal/j, pour un nageur son apport sera supérieur à 3000 kcal/j. Tandis que pour une nageuse femme l'apport énergétique sera inférieur à 3000 kcal/j. On constate la même différence entre un homme pratiquant de l'aviron où son apport sera aux alentours de 3500 kcal/j et pour une femme pratiquant l'aviron où son apport sera tout juste de 3000 kcal/j.

De plus, on constate une différence non négligeable des apports selon que l'on pratique un sport d'endurance ou un sport de force où il peut y avoir une différence de presque 2000 kcal/j. Par

exemple, un homme réalisant un triathlon aura un apport énergétique de presque 5000 kcal/j, tandis qu'un haltérophile n'aura besoin que de 3000 kcal/j.

Le deuxième élément permettant d'optimiser les performances par la nutrition, consiste à s'assurer que les athlètes consomment les bonnes quantités de glucides, de protéines et de lipides dans leur alimentation.

Les athlètes ont besoin d'un plan nutritionnel individualisé qui repose sur des principes scientifiques solides et qui s'intègre facilement dans leur routine quotidienne.

L'alimentation du sportif se base sur une alimentation équilibrée et variée (comme celle de la population générale basée sur les « Apports Nationaux Conseillés), ainsi que par des apports spécifiques liés au sport.

Par exemple l'alimentation pour le sportif peut être décomposé en :

- Alimentation de tous les jours
- Alimentation d'entraînement
- Alimentation de récupération

Selon l'intensité, la durée, le nombre de répétitions à réaliser ou selon les conditions ambiantes, l'alimentation du sportif ne sera pas la même. En effet, en fonction du type d'efforts, les filières énergétiques qui interviennent ne sont pas les mêmes.

On retrouve comme type d'efforts :

- Les sports de vitesse → ce type d'exercice utilise majoritairement l'anaérobie alactique donc fonctionne en absence d'oxygène et sans la production de lactate. Ceci permet des efforts intenses mais brefs comme le sprint.
- Les sports de force → ce type d'exercice utilise la filière énergétique anaérobie lactique. Comme le muscle ne reçoit pas assez d'oxygène pour répondre à l'effort, le muscle utilise le glycogène stocké. Ceci a lieu lors d'efforts intenses 15 secondes à 3 minutes comme lors des accélérations soutenues, des coureurs du 200 et 400 m, patinage de vitesse.
- Les sports d'endurance → ce type d'exercice utilise la filière énergétique aérobie. La respiration et la fréquence cardiaque s'accroissent pour assurer un transport important d'oxygène aux muscles. Il est primordial pour les athlètes d'endurance, d'avoir des grandes quantités de glycogène pour maintenir leur effort à une intensité élevée le plus longtemps possible.

L'alimentation pour les sportifs doit être composée d'une alimentation saine enrichie en glucides, modérée en protéines et limitée en graisse.

Comme dit précédemment, une personne sédentaire aura besoin en moyenne de 50-55% de glucides, 15% de protéines et 30-35% de lipides. Selon notre activité physique, la répartition idéale des macronutriments n'est pas la même. Une personne sportive pratiquant un sport d'endurance aura besoin de plus de glucides, aux alentours de 60-70%, d'autant de protéines que la personne sédentaire et d'un peu moins de lipides 15-25%. Pour un sportif pratiquant un sport de force, l'apport en glucides ne nécessite pas d'être aussi élevé par rapport au sportif pratiquant un sport d'endurance (55-60% de glucides), mais les apports en protéines, eux sont plus importants, avec un apport recommandé de 20%. En ce qui concerne les lipides, ils sont plus élevés que pour le sportif d'endurance mais plus faible par rapport au sédentaire (20-25%).

**Tableau 1 : Répartition de l'apport de glucides, de protéines et de lipides selon la nature du sport pratiqué (3)**

	<b>Sujet sédentaire (%)</b>	<b>Endurance (%)</b>	<b>Force (%)</b>
<b>Glucides</b>	50-55	60-70	55-60
<b>Protéines</b>	15	15	20
<b>Lipides</b>	30-35	15-25	20-25

Il est important de rappeler que les glucides sont des carburants rapides, les protéines participent à la construction et la réparation des muscles et les graisses sont des carburants lents. Parmi les glucides, on retrouve ceux à index glycémique bas qui sont plutôt à utiliser, avant la pratique sportive. Les glucides à index glycémique élevé sont à privilégier pendant et après l'effort.

#### B. Bilan balance énergétique

La balance énergétique est l'équilibre entre nos apports et notre dépense d'énergie. Pour un équilibre de la balance, les apports doivent être égaux aux dépenses. Donc 2 notions s'opposent : les besoins et les dépenses.

## 1. Dépenses énergétiques

La dépense énergétique totale correspond à la quantité d'énergie (E) dépensée par un individu pour assurer son métabolisme de base (ou de repos), le maintien de sa température interne et son activité physique. La dépense énergétique des 24 heures (DET) est donc l'énergie dépensée pour satisfaire ces trois postes. Cette dépense totale est en équilibre avec le catabolisme qui correspond à la production d'énergie. Cette dépense énergétique se calcule en kilocalories.

La Dépense énergétique totale correspond = métabolisme de base (60%) + effet thermique des aliments (10%) + activité physique (15-30%).

Le métabolisme de base représente donc environ aux deux tiers de la dépense énergétique totale. Le métabolisme de base correspond à la dépense énergétique minimale pour assurer le fonctionnement de l'organisme et de ses fonctions comme le fonctionnement cardiaque et respiratoire, le renouvellement des cellules... Le métabolisme de base représente une part plus importante des dépenses énergétiques quotidiennes chez les personnes sédentaires (60-80%) par rapport aux sportifs entraînés régulièrement (40-48%). Il est proportionnel au poids et plus encore à la masse maigre. A composition corporelle identique, les hommes dépensent environ 10 pour cent d'énergie en plus que les femmes. Des facteurs contribuent de façon modérée à une certaine variabilité interindividuelle du métabolisme de base, comme l'origine ethnique, le statut en hormones thyroïdiennes. Le métabolisme de base diminue avec l'âge, d'environ 4 % tous les 10 ans à partir de 50 ans, du fait de la réduction de la masse musculaire.

L'effet thermique des aliments correspond au fait que les aliments doivent être digérés afin de transformer l'énergie chimique des aliments en énergie utilisable par le corps. Ils sont alors transformés afin d'être stockés au niveau du foie, du muscle sous forme de glycogène ou stockés dans le tissu adipeux sous forme de triglycérides. Cela représente 10% de la dépense énergétique totale.

L'évolution des modes de vie a fortement changé depuis plusieurs années et favorise désormais l'activité professionnelle d'intérieur, moins soumise au froid, et les activités sédentaires plutôt que musculaires, la mécanisation du travail, le chauffage souvent excessif des bureaux et lieux d'habitation. Ceci a entraîné une baisse des dépenses énergétiques et donc des besoins en énergie liés à la thermorégulation.(3)

L'activité physique est définie par l'OMS comme correspondant à tout mouvement corporel produit par les muscles squelettiques qui entraîne une augmentation substantielle de la dépense d'énergie au-dessus du métabolisme de base. L'énergie dépensée au cours de l'activité physique représente environ 25 à 35 % de la dépense énergétique totale. C'est la partie la plus variable d'un individu à l'autre. Elle dépend de l'intensité et du temps consacré à l'activité physique. Seulement 15%, chez un individu effectuant moins de 2h de sport. Une forte dépense énergétique est relevée pour toutes les disciplines d'endurance (ski de fond, course à pieds, cyclisme).

**Tableau 2 : Dépenses énergétiques moyennes au cours de différentes activités sportives, individuelles ou collectives (4)**

Épreuves de course	Dépense énergétique (kcal)
100 m	31
400 m	89
10 000 m	800
42,195 km	2 870
Type d'activité	(kcal/h)
Volleyball	250
Tennis	450
Basketball, football	570
Judo, crawl	750
Course à pied (12 km/h)	900
Squash	900

Dépenses énergétiques moyennes pour un sujet de 70 kg de poids corporel, au cours de différentes activités sportives, individuelles ou collectives (partie inférieure du tableau); d'après Poortmans [5].

Les sports collectifs comme le basketball, le football, le handball consomme beaucoup d'énergie du fait de courses répétées ou de besoins de force pour les tirs puissants, lors d'un match.

La réalisation d'une pratique sportive conduit à une augmentation de la consommation énergétique liée au travail musculaire, le rythme cardiaque et la ventilation. Plus l'intensité de l'effort (vitesse, durée ...) sera importante, plus les dépenses vont donc augmentées, comme montré ci-dessous.

### Tableau 3 : Comparaison des dépenses énergétiques en kcal/h pour la marche à pied, le cyclisme et la natation (4)

*Comparaison des dépenses énergétiques en kcal/h pour la marche à pied, le cyclisme et la natation*

Dépenses énergétiques en kcal/h			
Vitesse (km/h)	5	6	7
<b>Marche à pied</b>	240	300	360
Vitesse (km/h)	15	20	30
<b>Cyclisme</b>	450	650	900
Vitesse (km/h)	1	2	3
<b>Natation (brasse)</b>	250	500	1 000

En résumé, l'énergie dépensée liée à l'activité physique, correspond à toute dépense énergétique qui s'ajoute au métabolisme de base. Cela peut comprendre autant une activité sportive comme la course, le crossfit mais aussi le fait de monter les escaliers, d'aller au boulot en vélo... Pour le sportif, il faudra donc maintenir cette balance énergétique en privilégiant un bon équilibre alimentaire. Ainsi, l'activité physique rentre dans la dépense énergétique totale de sorte qu'une augmentation de l'activité physique nécessite d'augmenter la production d'énergie afin de maintenir cet équilibre entre dépense et production. Le catabolisme nécessite d'être augmenté et adapté dans l'alimentation du sportif, et cela passe par les aliments qui comprennent les glucides, lipides et protéines. Ces aliments sont digérés en nutriments, puis en produits terminaux ce qui nous donne de l'énergie utilisable sous forme d'ATP. Il faut qu'il y ait une adéquation énergétique (quantitatif) et une adéquation qualitative (macro/micronutriments).

#### 2. Indice de Masse Corporelle

Lorsqu'il y a une dérégulation du bilan énergétique, c'est à dire lorsque les apports sont supérieurs aux dépenses ou lorsque les dépenses sont supérieures aux apports, alors cela se traduit par une variation de masse corporelle. Par exemple, la prise de poids est la conséquence d'un apport calorique supérieur à ce que sont les besoins.



Cette variation de masse et son interprétation peuvent être mesurée par l'IMC. Cependant, cette interprétation est à prendre avec des pincettes, car elle doit être adaptée à chaque personne et ce d'autant plus, avec les sportifs qui ont une importante masse musculaire.

L'IMC, Indice de Masse Corporelle, est une grandeur qui permet d'évaluer la corpulence d'une personne. Elle se calcule en divisant le poids en kg par la taille en mètre au carré ( $P/T^2$ ). Selon la valeur de l'IMC, il a été défini des catégories correspondantes. Ainsi un IMC  $< 18,4$  est signe de sous nutrition/maigreur. La normalité est comprise entre 18,5-24,9. On parle de surpoids pour un IMC  $> 25$  et d'obésité pour un IMC  $> 30$ . Ces variables ne sont valables que chez l'adulte.

Cependant, cet indice a ses limites et nécessite une réflexion en fonction du score indiqué. En effet c'est une donnée intéressante en médecine générale, mais chez certains sportifs qui ont une masse musculaire très développée et donc un poids plus important, si on calcule leurs IMC, ils se retrouvent dans la catégorie obésité. Pourquoi ? Tout simplement parce que les personnes qui sont partisan de la musculation, par exemple, l'IMC devient une donnée qui ne doit pas être interprété. Effectivement, il ne prend pas en compte la différence de la densité entre la graisse et le muscle. Or, les muscles pèsent plus lourd que la graisse.

Pour certaines disciplines, le sportif peut être en recherche d'un certain poids comme pour des sports comme la gymnastique ou la danse, des sports où un faible poids corporel est recherché. Chez ces sportifs, les apports énergétiques sont réduits pour devenir des fois, inférieurs à 1,4-1,6 fois le métabolisme de base d'un sédentaire, ignorant les impacts sur la santé. Il en est de même pour des disciplines dites à catégories de poids, comme la boxe, le judo... ces sportifs ont comme pratique assez courante avant une compétition, la perte rapide de poids corporel afin de ne pas changer de catégorie de poids.

### 3. Calcul de la dépense énergétique

On peut calculer les dépenses énergétiques en fonction de l'intensité de l'activité physique, sa durée ainsi que selon d'autres paramètres comme l'âge, le sexe, le métabolisme de base...

L'estimation du métabolisme de base peut être faite en fonction du poids et de la taille, du sexe et de l'âge, selon les formules de Black et al.

- Pour les femmes :  $MB = 0,963 \times P^{0,48} \times T^{0,50} \times A^{-0,13}$  avec  $p$  = poids en kg ;  $T$  = taille en m ;  $A$  = âge en années

• Pour les hommes :  $MB = 1,083 \times P^{0,48} \times T^{0,5} \times A^{-0,13}$

Par exemple : pour un Homme de 32 ans mesurant 1m79 et pesant 70kg cela nous donne :

$$MB = 1,083 \times 70^{0,48} \times 1,79^{0,5} \times 32^{-0,13}$$

$$= 7,1 \text{ Mj/jour} = 7100 \text{ Kj}$$

Ensuite il nous suffit de convertir les Kj en Kcal en divisant par 4,18 étant donné que 1 Kcal = 4,18 Kj. Nous obtenons donc un métabolisme de base de 1698 Kcal.(3)

Le calcul des dépenses peut tenir compte du niveau d'activités, tout au long d'une journée. La dépense énergétique totale correspond alors au métabolisme de base multiplié par le Niveau d'Activité Physique (NAP). Il existe des moyennes pour estimer le Niveau d'Activité Physique.

$$DET = Mb \times NAP$$

**Tableau 4 : NAP en fonction de l'activité quotidienne**

	<b>Inactivité</b>	<b>Activité moyenne</b>	<b>Activité importante</b>	<b>Activité très importante</b>
<b>NAP</b>	1,4-1,5	1,6-1,7	1,8-1,9	>2
<b>Classification</b>	Activité sédentaire ou inactivité	Petits déplacements, employé de bureau avec un peu d'activité de loisir le Week-End	Activité professionnelle intensive avec plus de 3 heures de sport par semaine	Activité professionnelle intensive avec plus de 6 heures de sport par semaine

Par exemple, si on considère que Monsieur M. est vendeur dans une boutique de sports et qu'il pratique du volley-ball en loisir le week-end.

Nous obtenons donc :

$$DET = Mb \times NAP = 1698 \times 1,7 = 2\ 886 \text{ kcal/j.}$$

En calculant la dépense énergétique, on pourra répondre du coup à la question suivante : Quels sont ces besoins et comment les couvrir ? Ces besoins correspondent à la quantité journalière de calories à apporter en fonction de l'activité physique.

#### 4. Problèmes de disponibilité énergétique

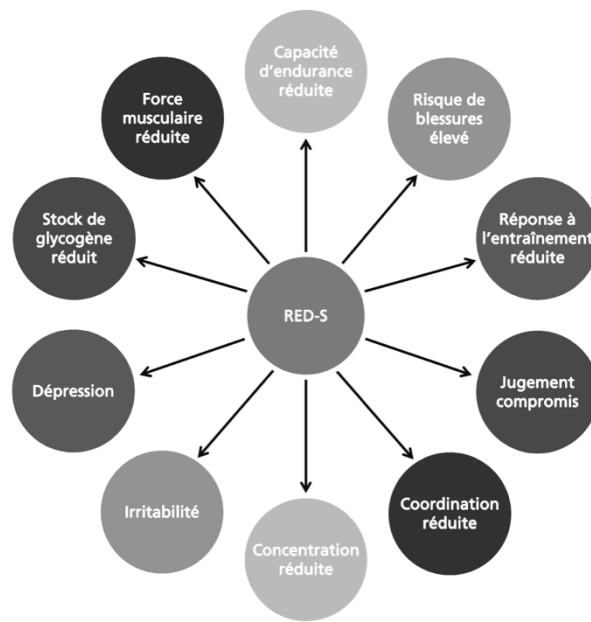
Une notion récente est apparue qui est celle de la disponibilité énergétique. Elle correspond à l'apport alimentaire moins la dépense énergétique de l'exercice. Ce qui correspond à la quantité d'énergie dont dispose l'organisme pour accomplir les tâches de tous les jours. Si un athlète ne consomme pas assez d'énergie pendant les phases d'entraînements intensives, cela peut conduire à des effets indésirables dus à la faible disponibilité énergétique. Cette carence peut amener à un déficit énergétique relatif (RED) dans le sport chez l'athlète.

##### 4.1 Syndrome de RED-S

Le syndrome de RED-S (*Relatively Energy Deficiency in Sport*) correspond à un fonctionnement physiologique altéré causé par un déficit énergétique relatif. (5) Si un athlète n'ingère pas assez de calories au cours de la journée pour assurer les fonctions corporelles de base du corps en lien avec la dépense énergétique lors de l'entraînement, cela peut provoquer des effets négatifs sur sa santé physique et mentale ainsi que sur ses performances. On fait face à des contre-performances.

Les effets possibles du déficit énergétique relatif sur les performances sportives peuvent comprendre :

- Une diminution de l'endurance
- Une augmentation du risque de blessure
- Une diminution de la réponse à l'entraînement
- Une altération du jugement
- Une diminution de la coordination
- Une diminution de la concentration
- Une irritabilité, une dépression
- Une diminution des réserves de glycogène
- Une diminution de la force musculaire



**Figure 3 : Syndrome du RED-S (5)**

Ce problème est particulièrement visible chez les jeunes femmes qui pratiquent un sport où l'aspect esthétique est important comme la danse, la gymnastique...

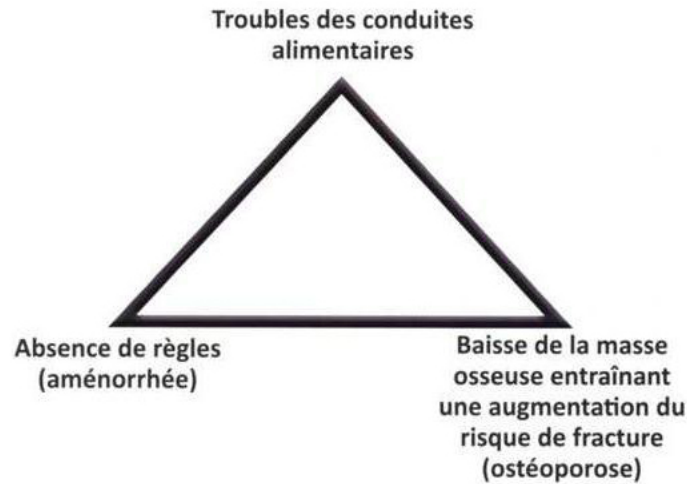
#### 4.2 Triade de l'athlète féminine

Une des notions dont on ne peut pas faire abstraction dans l'importance de l'alimentation chez le sportif, et ses conséquences, quand les apports sont insuffisants est ce qu'on appelle la triade de l'athlète féminine.

La triade de l'athlète féminine se définit par une dépendance réciproque entre :

- Un faible apport énergétique
- Un dysfonctionnement menstruel
- Une mauvaise santé osseuse

Cela peut aller à des symptômes légers n'entraînant pas de graves conséquences à des problèmes plus importants comme des troubles de l'alimentation, une aménorrhée et l'ostéoporose.



**Figure 4 : Triade de l'athlète féminine (6)**

Elle se retrouve chez des femmes qui font de l'exercice, que ce soit en compétition ou non.

On parle de triade car les 3 composantes sont interdépendantes et chaque composante de la triade est liée à une autre composante. Par exemple, une faible disponibilité énergétique va avoir des conséquences sur les troubles menstruels et sur une mauvaise santé osseuse ; mais aussi les troubles menstruels auront un impact négatif sur la santé osseuse.

A l'origine de la triade est la faible disponibilité en énergie. En effet, notre corps est comme une machine et lorsqu'on la limite en carburant qui la fait avancer, l'énergie est détournée au détriment de la croissance et de la reproduction afin de donner la priorité aux compartiments vitaux pour la survie de l'individu. Ainsi, l'énergie disponible est détournée de la croissance et de la reproduction, ce qui entraîne une cascade d'altérations métaboliques et énergétiques. On parle de triade de l'athlète féminine et non masculine car chez les hommes, il faudrait des réductions beaucoup plus importantes de l'apport énergétique pour produire des effets similaires.

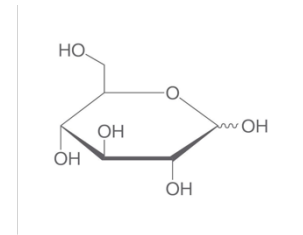
### C. Apports nutritionnels en macronutriments

En moyenne, pour un homme sédentaire ses besoins seront de 2200 kcal/j et pour une femme cela sera aux alentours de 1800 kcal/j. L'exercice physique régulier a pour conséquence une

augmentation des besoins en énergie, qui peuvent augmenter de 500 à 1000 kcal/h selon le sport pratiqué et l'intensité mise. Par exemple, des pratiques sportives comme un marathon peuvent se traduire par une dépense de 750 à 1 500 kcal/h. (7) Les apports doivent donc être augmentés pour ce type de pratiques sportives.

Ainsi la contribution des macronutriments à l'apport énergétique est de :

- Pour les protéines : 1 gramme de protéines fournit 4 kcal
- Pour les glucides : 1 gramme de glucides fournit 4 kcal
- Pour les lipides : 1 gramme de lipides fournit 9 kcal



Molécule de glucose

## 1. Glucides

### 1.1 Rôles des glucides

Les glucides sont indispensables au fonctionnement de notre corps et plus particulièrement des muscles et du cerveau et constituent la source d'énergie la plus rapidement utilisable par l'organisme. Ils sont également impliqués dans l'anabolisme des protéines. Les glucides ont donc un rôle essentiellement énergétique. Ils sont apportés par l'alimentation, puis dégradés en glucose qui va par la suite se répartir dans l'organisme. Une partie est stockée sous forme de glycogène dans le foie et les muscles ce qui servira de réserve.

### 1.2 Sources de glucides

Les sources de glucides sont très diverses et variées.

Ainsi, on retrouve de très nombreux aliments contenant des glucides :

- Le sucre
- Les féculents type riz, pâtes, pain, farine, semoule
- Les petits pois, lentilles, pois chiches
- Le miel
- Les gâteaux, biscuits
- Les fruits...

### 1.3 Structures et classifications

Les **glucides** aussi appelés hydrate de carbone sont composés d'atomes d'oxygènes, d'hydrogène et de carbone. Sa formule brute chimique est  $(\text{CH}_2\text{O})_n$  où  $n$  correspond au nombre d'atomes de carbones allant de 3 à 7.

La classification des hydrates de carbone se fait :

- Selon la longueur de la chaîne carbonée
- Selon le nombre de sucres simples

L'unité de référence est la molécule de glucose.

On peut classer les glucides en 3 catégories :

- Les monosaccharides
- Les disaccharides
- Les polysaccharides

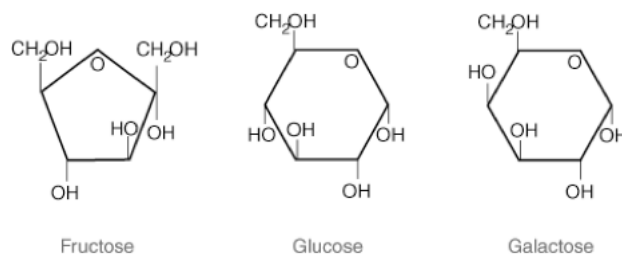
#### a. Monosaccharides

Les *monosaccharides* sont des molécules composées de carbone (C), hydrogène (H) et d'oxygène (O) :  $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n$

Les monosaccharides représentent l'unité de base des glucides. On y distingue les pentoses (5C) et les hexoses (6C).

Les hexoses sont les plus importants sur le plan énergétique et on retrouve dedans :

- Glucose
- Fructose
- Galactose (leur vidange gastrique est rapide)



**Figure 5 : Structure des hexoses**

Le glucose est naturellement présent dans les aliments mais il peut également provenir de la digestion de glucides plus complexes ou peut être synthétisé lors de la néoglucogenèse. Le

glucose est transporté à l'intérieur des cellules intestinales par un transporteur, et ce transport est actif et donc nécessite de l'énergie.

Une fois absorbé par l'intestin grêle, le glucose peut agir de plusieurs façons :

- Soit être immédiatement utilisé par les cellules pour produire de l'énergie
- Soit être stocké sous forme de glycogène dans le muscle et le foie
- Soit être stocké dans différents tissus comme le tissu adipeux sous forme de graisse de réserve

Le transport du fructose utilise un autre mécanisme et ne nécessite pas d'énergie.

Ces types de mécanismes sont à l'origine de la disponibilité rapide des sucres simples dans la circulation sanguine, ils sont donc appelés sucres rapides.

#### *b. Disaccharides*

Les *disaccharides* sont des molécules formées par l'union chimique de deux monosaccharides. Le saccharose se forme par l'union d'un glucose à un fructose. Les deux sucres sont liés par un oxygène.

Les disaccharides les plus courants sont :

- Le saccharose : glucose-fructose
- Le lactose : glucose-galactose
- Le maltose : glucose-glucose

Le lactose est le sucre le plus présent dans le lait.

#### *c. Polysaccharides*

Les *polysaccharides* sont composés d'un grand nombre de molécules. La majorité des polysaccharides sont des polymères de glucose.

Les polysaccharides les plus rencontrés sont :

- Le glycogène
- L'amidon
- La cellulose



Le **glycogène** est la forme de stockage musculaire et hépatique des monosaccharides. On dit que le glycogène est le sucre de réserve des animaux. En effet, l'organisme met en réserve le surplus de glucose sous forme de glycogène dans le corps lors d'une réaction appelée glycogénogénèse. Le corps humain peut accumuler environ 400 grammes de glucose majoritairement sous forme de glycogène : 100 grammes de glycogène hépatique et 300 grammes de glycogène musculaire. Le glycogène musculaire constitue la principale source d'énergie glucidique utilisée par les muscles lors d'un exercice physique. Inversement au glycogène musculaire, le glycogène hépatique doit être dégradé en glucose afin d'être utilisé par les muscles. Ce processus est appelé glycogénolyse et assure un apport rapide de glucose aux muscles.

L'**amidon** est la forme de réserve la plus courante des hydrates de carbone des végétaux. C'est la plus importante source alimentaire des glucides.

L'amidon se décompose en dextrine et en maltose, puis sous l'effet d'une maltase en glucose.

On retrouve l'amidon dans :

- Blé
- Autres céréales
- Riz et pommes de terre
- Légumes secs
- Légumes et fruits

Les sucres lents passent par différentes étapes entre le moment où ils sont ingérés, le moment où ils sont absorbés par l'intestin et enfin le moment où ils se retrouvent sous la forme de glucose dans la circulation sanguine. Le fait que l'amidon possède une enveloppe ou des fibres autour de lui ralentit l'absorption intestinale.

#### *1.4 Les fibres*

Les **fibres** sont non digestibles par l'Homme. On retrouve deux types de fibres qui ont des propriétés différentes : les fibres solubles et les fibres insolubles.

Les **fibres solubles** comme la pectine, les gommes sont présentes dans les légumes ainsi que les fruits. Elles ont la capacité d'absorber de grande quantité d'eau et forment un gel qui épaissit le contenu de l'estomac.

Elles ont comme propriétés de :

- Ralentir l'absorption des nutriments, surtout des glucides et des lipides

- Favoriser l'équilibre de la flore intestinale par leur action fermentescible
- De procurer un sentiment de satiété par leur propriété satiétogène (8)

Les **fibres insolubles** comme la cellulose et la lignine sont présentes dans les produits céréaliers.

Elles ont comme propriétés de :

- Réguler le transit intestinal en stimulant le péristaltisme
- Aider à la recapture du cholestérol

La répartition recommandée des fibres dans notre alimentation devrait être de 1/3 de fibres solubles et 2/3 de fibres insolubles.

### *1.5 Apports recommandés et répartition en glucides*

Les aliments qui contiennent des glucides simples sont les aliments naturellement sucrés comme le miel, les fruits le lait. Les aliments qui contiennent des glucides complexes sont les féculents c'est à dire les pâtes, le pain, les pommes de terre, les légumineuses...

Les recommandations actuelles en termes de répartition alimentaire sont de 50-55% de glucides sur le total d'apport journalier pour une personne normale. Cependant selon les populations, ce pourcentage peut varier. En effet, certaines populations/ethnies consomment peu ou beaucoup de glucides et sont pour autant en bonne santé. Cela est dû au fait que notre corps est capable de produire du glucose à partir de substrats non glucidiques. Le problème dans notre société est que la part des glucides complexes dans notre alimentation diminue au profit des sucres raffinés/industriels.

### *1.6 Index glycémique*

L'**index glycémique** permet de donner une indication sur la capacité d'un aliment à augmenter la concentration de glucose dans le sang.

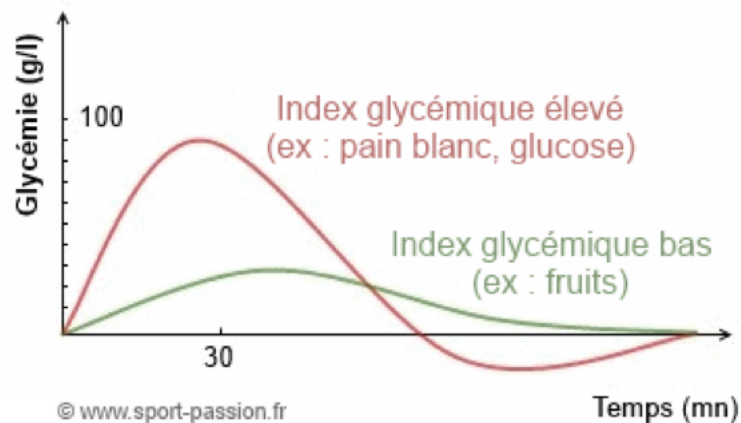
Suite à un apport alimentaire, on a une sécrétion d'insuline qui est hypoglycémiante. Elle va permettre de faire passer le glucose qui est présent dans le sang dans les différents tissus qui en ont besoin.

L'index glycémique est défini comme l'aire sous la courbe de la réponse glycémique après l'ingestion d'un aliment glucidique. On fait ingérer 50 g de glucose pur et on mesure la

glycémie pendant les 2 h qui suivent. Ensuite on fait ingérer une quantité de l'aliment à tester contenant l'équivalent de 50 g de glucose et on mesure la glycémie pendant les 2 h qui suivent.

Indice glycémique = (réponse glycémique de 50g d'aliment testé/ réponse glycémique de 50g de glucose)

Cette courbe permet d'évaluer la vitesse à laquelle le sucre apparaît dans le sang ainsi que la vitesse à laquelle il est distribué aux tissus.



**Figure 6 : Index glycémique (9)**

Cela permet de comparer les aliments entre eux. On considère que le glucose est la molécule de référence et on lui donne la note de 100.

A partir de ce critère on classe les aliments selon leur pouvoir hyperglycémiant bas, moyen ou élevé. Ils seront répartis en :

- IG bas < 50
- IG moyen entre 50-74
- IG élevé > 75

**Tableau X. – Classification en trois niveaux principaux d'index glycémique (IG) d'aliments représentatifs de leur catégorie (glucose valeur 100) (d'après [14], modifié).**

Catégories d'aliments	IG bas (< 50)	IG moyens (50-74)	IG élevés (> 75)
Sucres	fructose : 23* lactose : 46	saccharose : 65	miel : 73 glucose : maltose : 105
Fruits	cerise, pêche : 20-30 agrumes : 25-45 pomme, poire, raisin : 35-45	fruits « exotiques » (kiwi, banane, mangue, ananas*) : 50-70	
Boissons	jus de pomme ≈ 40	jus d'orange, soda : 55-65	
Céréales petit déjeuner	All-Bran® : 30	porridge : 61	cornflakes et autres : ≈ 80
Pains	pain au son, pain aux céréales* : 40-50	pain blanc : 70	pain complet : 77 baguette : 95
Céréales et pâtes	pâtes : 30-50	riz, semoule : 55-65	riz rapide : 91
Légumes et pommes de terre	petits pois : 48	potatoe nouvelle, betterave, carotte* : 60-70	potatoe cuites ou en flocons : 75-85
Légumes secs	soja, pois chiches, lentilles, haricots* : 20-40		fèves : ≈ 80
Produits laitiers	30-40		
Collations, confiseries, « en-cas »	chocolat : ≈ 50	chips, pop-corn : 50-60 pizza, barres chocolatées : 60-75	

\*aliments données en ordre croissant d'IG pour un même groupe : ne sont indiquées précisément que les valeurs d'IG qui s'écartent d'une valeur moyenne.

### Figure 7 : Index glycémique de certains aliments (9)

L'index glycémique varie selon mode de cuisson, le mode de préparation, la présence de coques, la présence d'autres aliments, le contenu de l'estomac...

Par exemple, parmi les aliments à index glycémique faible on retrouve les légumes secs, lait, légumes. Dans les index glycémique moyen on peut retrouver les abricots, banane, pomme de terre bouillie. Parmi les aliments à index glycémique élevé on a la baguette, les frites, le glucose.

Lorsqu'on consomme des aliments à index glycémique élevé, le taux de sucre dans le sang augmente fortement provoquant une hyperglycémie post-prandiale et par conséquent une hyper-insulinémie. Ainsi en période post-prandiale, l'oxydation du glucose est plus forte et l'oxydation des acides gras est diminuée, favorisant le stockage des lipides. De sorte que la consommation d'aliments à index glycémique bas permet de réduire l'élévation de la glycémie post-prandiale et donc de l'élévation de l'insuline, ce qui contribue à l'oxydation des acides gras libres.

## 2. Lipides

### 2.1 Rôle

Un lipide fournit une énergie de 9 kcal/g. C'est le macronutriment le plus riche en énergie en comparaison avec les glucides et les protéines.

Les lipides sont souvent diabolisés et vu comme source de gras et de maladies. Or ils ont un rôle essentiel :

- Un rôle de **stockage de l'énergie**. Dans ce cas les lipides sont sous forme de triglycérides, présents notamment dans les tissus adipeux. Ils interviennent en tant qu'approvisionnement d'énergie, notamment pour des efforts de longue durée.

On distingue trois sources de lipides :

- Foie et Sang
  - Adipocytes
  - Muscle. Le pool de lipides dans le muscle peut être déficitaire lors d'un apport insuffisant en lipides.
- Un rôle **structural**. Dans ce cas, ils sont sous forme de phospholipides et entrent dans la composition des membranes des cellules. Ils y assurent notamment leur fluidité.

On pense souvent à tort que ce ne sont que les lipides qui sont responsables d'une prise de poids, cependant la véritable cause d'une prise de poids est un déséquilibre entre les apports et les besoins, où les calories consommées sont supérieures aux calories dépensées.

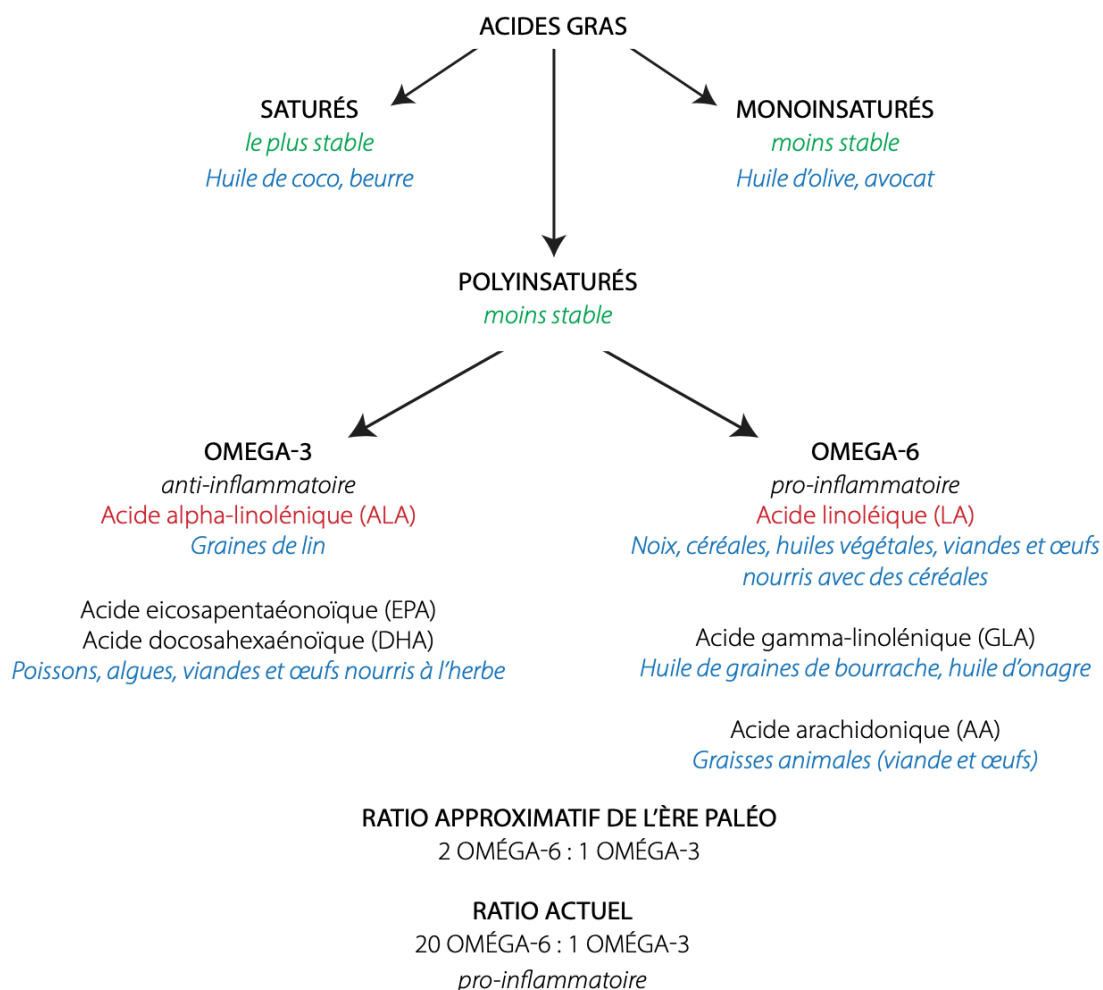
### 2.2 Sources de lipides

Les lipides sont retrouvés dans de nombreux aliments. On en retrouve dans des aliments dits non transformés ou dans des aliments dits transformés.

On a ainsi :

- Les huiles (olive, amande, colza...)
- Graisses animales (d'oie, de canard, de poulet...)
- Graisses végétales type margarine
- Beurre
- Les oléagineux type noix de cajou, noix de macadamia, amandes
- Charcuterie
- Fromages
- Chocolat

## 2.3 Acides gras



**Figure 8 : Classification des Acides Gras (10)**

Chimiquement, les lipides sont composés de substances appelées acides gras.

Les acides gras sont caractérisés par :

- La longueur de leur chaîne
- La présence de double liaison

Selon la présence ou l'absence de doubles liaisons, on peut classer les acides gras en :

- Acides gras saturés
- Acides gras mono-insaturés → acide oléique
- Acides gras poly-insaturés → oméga 3 : acide linoléique ; oméga 6 : acide linoléique

Dans les acides gras poly-insaturés, on retrouve les acides gras essentiels car non fabriqués par l'homme, ils doivent être apportés par l'alimentation (oméga 3/6).

La position de la première double liaison par rapport au CH<sub>3</sub> terminal détermine la classification physiologique des acides gras. On définit ainsi des familles d'acides gras ayant chacune une position particulière de cette première double liaison : en ω3, ω6, ω7, ω9.

Les triglycérides et phospholipides de l'organisme sont constitués notamment d'acides gras qui sont apportés par l'alimentation et, pour certains d'entre eux, synthétisés par l'organisme. Les lipides alimentaires sont très majoritairement sous forme de triglycérides.

#### *2.4 Cholestérol*

Le **cholestérol** fait également partie des lipides. Il est le précurseur des hormones stéroïdiennes. Son origine provient majoritairement d'une synthèse endogène (75%), tandis que seul 25 % du cholestérol provient de manière exogène c'est à dire de l'alimentation.

Grossièrement on distingue deux types de cholestérol :

- Le LDL cholestérol (Low Density Lipoprotein) qui pourrait s'apparenter au « mauvais » cholestérol. Son excès favorise la formation de plaques d'athéromes et bouche les artères
- Le HDL cholestérol (High Density Lipoprotein) qui s'apparente au « bon » cholestérol. Des niveaux élevés de HDL cholestérol sont synonymes de protecteur de risques de maladies cardiovasculaires.

#### *2.5 Acides gras mono-insaturés*

Les **acides gras mono-insaturés** sont majoritairement retrouvés sous forme d'acide oléique (oméga 9). Ils ne font pas partie des acides gras essentiels car ils peuvent être synthétisés par notre corps.

Ils sont retrouvés dans les huiles d'olive, de colza, d'arachide, de palme. De nombreux produits animaux comme les viandes ou les produits laitiers en apportent également. Il est recommandé d'avoir un apport de 15-20% d'acides gras mono-insaturé sur notre apport énergétique totale. Les acides gras mono-insaturés (comme les acides gras poly-insaturés) protègent des maladies cardio-vasculaires en faisant baisser le taux de LDL-cholestérol.

#### *2.6 Acides gras poly-insaturés*

Les **acides gras polyinsaturés** ne peuvent pas être fabriqués par l'organisme et sont donc dits acides gras essentiels. Ils doivent être apportés par l'alimentation.

Les principaux acides gras essentiels sont :

- Les acides gras omega-6 avec l'acide linoléique, retrouvés dans les huiles telles que l'huile de tournesol ou de maïs
- Les acides gras omega-3 avec l'acide  $\alpha$ -linoléique, retrouvés dans les poissons gras et les huiles comme celles de soja, lin.

Les apports recommandés en acides gras poly-insaturés sont de 5% du total de notre apport énergétique. Avec un rapport oméga 6/oméga 3 idéal de 5/1 (dans notre société de consommation nous sommes plus aux alentours de 10/1 voir 30/1). Les oméga 3 ont un effet protecteur sur la fonction cardiovasculaire et sur les fonctions cognitives alors que les oméga 6 ont un rôle positif sur les taux de lipides sanguins. Cependant, les oméga 6 en excès empêchent l'utilisation optimale des oméga 3 par l'organisme. Au niveau physiologique, les oméga-3 sont connus comme des graisses anti-inflammatoires alors que les oméga-6 sont connus comme des graisses inflammatoires. Les deux sont nécessaires en quantités relativement semblables.

### *2.7 Acides gras saturés*

Les **acides gras saturés** favorisent les dépôts de cholestérol dans les artères et augmentent le risque d'avoir des maladies cardiovasculaires. On les retrouve principalement dans les graisses d'origine animale comme le beurre, la crème fraîche ou encore les fromages.

Les apports recommandés en acides gras saturés doivent être inférieur à 12% des apports énergétiques totaux.

### *2.8 Apports recommandés et répartition des lipides*

L'apport énergétique totale des lipides devrait être de 35-40% selon les recommandations. Les sources saines de graisses comprennent le saumon, les noix et les beurres de noix, l'avocat, ainsi que l'huile de coco et d'olive.

Pour ce qui est de la répartition au niveau du corps, le tissu adipeux représente 15-20% du poids corporel d'un homme et 20-25% du poids corporel d'une femme. Ce pourcentage est souvent plus faible chez les sportifs et dépend du type de sport pratiqué. Les femmes ont un pourcentage de graisse plus élevé que les hommes, au repos elles utilisent moins les acides gras que les hommes (moins de lipolyse).



Au cours de l'exercice physique, les lipides sont amenés à être utilisés en fonction de la durée et de l'intensité de l'effort. Les triglycérides disponibles pour l'effort sont soit dans le sang, soit stockés dans le tissu adipeux et les muscles. Lorsque les lipides sont utilisés par l'organisme ils proviennent soit des triglycérides intramusculaires soit du tissu adipeux (site de réserve) où les triglycérides sont mobilisés pour finir dans le sang.

### *2.9 Qualité des lipides*

Pour les lipides, il se pose la question de la qualité des lipides car ils ne sont pas tous équivalents. Il faut limiter les acides gras saturés (retrouvés dans les huiles de palme, beurre, charcuterie, fromage) et privilégier les acides gras mono/polyinsaturés (huile de colza, amandes...), cela contribue à un apport nutritionnel équilibré. En effet, la consommation de trop de lipides peut être néfaste mais à l'inverse, l'absorption de pas assez de lipides peut également être néfaste car cela va créer un déséquilibre de la répartition des nutriments. Un régime hypolipidique va induire une utilisation plus intense des glucides mais aussi épuiser plus rapidement les réserves de glycogène. De plus il a été démontré qu'un régime hypolipidique entraîne une utilisation moindre des lipides (lipolyse) pendant l'exercice. Enfin l'utilisation moindre des lipides entraîne un abaissement du total calorique total du sportif qui se retrouve donc en insuffisance calorique ce qui peut avoir des conséquences sur ses performances sportives par la suite.

## 3. Protéines

### *3.1 Rôle des protéines*

Les **protéines** sont essentielles à l'organisme, elles ont un rôle structural au niveau musculaire mais sont également impliquées dans de nombreux mécanismes comme la digestion et la réponse immunitaire.

Les protéines du corps sont constamment et simultanément synthétisées et dégradées. Ce renouvellement permanent assure un entretien régulier des protéines endommagées et dysfonctionnelles. Dans le muscle squelettique, le renouvellement des protéines est également permanent et constitue la base de la plasticité du muscle squelettique en réponse au degré de charge de haute intensité imposé comme dans les exercices de résistance. (11)

Les protéines exercent de nombreuses fonctions :

- Elles ont un rôle structural et contribue au renouvellement des tissus musculaires, de la peau ...
- Elles interviennent dans de nombreux processus physiologique
- Elles ont un rôle énergétique car en cas d'épuisement des ressources de glucides et de lipides, les protéines deviennent une source d'énergie.

Les protéines apportent 4kcal/g.

La qualité des sources alimentaires de protéines est définie par leur aptitude à couvrir les besoins en protéines et acides aminés indispensables. Plus une protéine contient des acides aminés essentiels, plus elle est considérée comme une protéine de haute valeur biologique. Par exemple, la protéine de l'œuf contient tous les acides aminés essentiels et est donc considérée comme référence.

### *3.2 Sources de protéines*

Les aliments sources de :

- Protéines d'origine animales sont principalement retrouvées dans le lait, les œufs, la viande ou encore le poisson.
- Protéines d'origine végétales sont principalement retrouvées dans les légumineuses ou les céréales.

Les protéines végétales étant en général limitées en certains acides aminés indispensables, il est nécessaire de les associer avec des céréales afin d'établir l'équilibre en acides aminés.

Par exemple, comme association possible, on peut faire :

- Riz + lentilles
- Pâtes + pois chiches
- Maïs + haricots rouges

### *3.3 Acides aminés*

Les **Acides aminés** sont l'unité de base des protéines. Parmi le grand nombre d'acides aminés existants, seuls vingt sont utilisés par l'organisme pour la conception des protéines. Dans ces vingt acides aminés, 11 peuvent être fabriqués par le corps, tandis que les 9 autres restants

doivent être apportés par l'alimentation car le corps n'est pas capable de les fabriquer, ils sont dits indispensables.

Suite à la protéolyse musculaire (destruction des protéines), les acides aminés sont réutilisés mais ce recyclage n'est pas efficace à 100% et des acides aminés sont perdus. Ces acides aminés perdus ont plusieurs finalités comme celles d'être oxydés et d'être converti en glucose par le biais de la néoglucogenèse. Il est donc important d'avoir un apport protéique quotidien afin de renouveler ces acides aminés et donc de protéines perdues.

### *3.4 Destruction des protéines lors de l'effort*

Lors d'un effort sportif, si l'approvisionnement en glucose vient à manquer, on observe une augmentation de la dégradation protéique dont le but est d'augmenter la disponibilité en acides aminés, qui vont être des substrats énergétiques importants utilisables par le muscle. Au cours de l'exercice, le muscle est donc exposé aux influences des processus cataboliques et anaboliques. Ainsi, en cas de besoin, certains acides aminés peuvent être oxydés pour donner de l'énergie nécessaire à la resynthèse de l'ATP. De sorte qu'ils peuvent être considérés comme de véritables substrats utiles pour le fonctionnement musculaire.

Au cours d'exercices de très longue durée, et compte tenu des réserves limitées en glucides, le maintien du travail musculaire nécessite d'utiliser certains acides aminés comme substrats énergétiques. Ces acides aminés proviennent d'un pool limité d'acides aminés libres présents dans le sang circulant ou dans le foie, ils peuvent également provenir de la lyse de protéines de structure. La part de la production totale d'énergie par des acides aminés évolue selon le type d'exercice, son intensité, sa durée et la qualité de la ration alimentaire. Cependant, dans les conditions standard, la production d'énergie à partir de l'oxydation des acides aminés moindre car elle varie de 3 à 10 %.

En dehors d'un pool limité en acides aminés libres, l'organisme ne possède pas de réserves endogènes propres en acides aminés, autres que les protéines structurales et fonctionnelles. C'est pourquoi, en cas de besoin énergétique en acides aminés, dans des situations de déséquilibre important et prolongé du bilan azoté, c'est la lyse de protéines plasmatiques qui permet d'assurer la fourniture en composés azotés. Compte tenu de leur importance quantitative dans l'organisme, les muscles squelettiques représentent le réservoir potentiel en acides aminés le plus important.

Au cours de l'exercice de longue durée, le muscle est dans un état de catabolisme, avec une inhibition des synthèses en protéines musculaires et une activation de la protéolyse.

De nombreuses études ont montré une augmentation de la lyse protéique musculaire pendant les exercices de musculation. En effet, au cours de l'exercice de musculation, on observe une diminution des synthèses protéiques. Cependant, le niveau des synthèses protéiques musculaires augmente très tôt après l'arrêt d'un exercice de musculation. La pratique d'un exercice de musculation intense va induire une augmentation des synthèses protéiques qui persiste jusqu'à 48 h.

### *3.5 Apports recommandés et répartition en protéines*

Les apports recommandés en termes de protéines pour une personne normale en bonne santé sont de 0,83 g/kg/j. Cela doit correspondre à 10-20% des apports énergétiques totaux. Au vu du nombre insuffisant de recherches, il est difficile de donner une limite maximale de consommation de protéines. Ainsi avec les connaissances actuelles, une consommation entre 0,83 et 2,2 g/kg/j de protéines est considérée comme satisfaisante pour un adulte en bonne santé, non sportif. Cependant il faut garder à l'esprit qu'une consommation excessive de protéines est à l'origine d'effets indésirables. En effet, un apport trop important de protéines va imposer une surcharge métabolique au foie et aux reins qui devront alors éliminer de grandes quantités d'urée. De plus, il faut faire attention aux raccourcis car 100 grammes de viande, n'équivaut pas à 100 grammes de protéines.

Par exemple, 100 grammes de poulet, équivaut à 20 grammes de protéines mais contient également des lipides, glucides...

On retrouve 20 grammes de protéines dans :

- 100 grammes de viandes
- 2 œufs
- 120 grammes de poissons
- 70 grammes de gruyère
- 1/2 litre de lait

L'intérêt des protéines dans la pratique d'un exercice physique est que nos muscles sont fabriqués à partir de protéines. Le sport entraîne une destruction des protéines musculaires.

Il a été démontré que l'effet de la consommation de protéines est renforcé quand elle est associée aux glucides. Les glucides stimulent la production d'insuline ce qui stimule les muscles à absorber les acides aminés.

#### 4. Rôle de l'eau dans le corps humain

L'eau représente 60 à 65 % du poids total d'un adulte, elle est le principal constituant du corps humain. Plus nous vieillissons, moins notre organisme en contient : 75 % chez un nouveau-né et 55 % chez une personne âgée. L'eau permet la répartition à notre corps des nutriments, de l'oxygène, ainsi que l'élimination des déchets. Elle participe aussi à la régulation de la température du corps, grâce à la transpiration, à la perspiration (l'évaporation continue d'eau par les pores de la peau) et à l'émission de vapeur d'eau par la respiration.

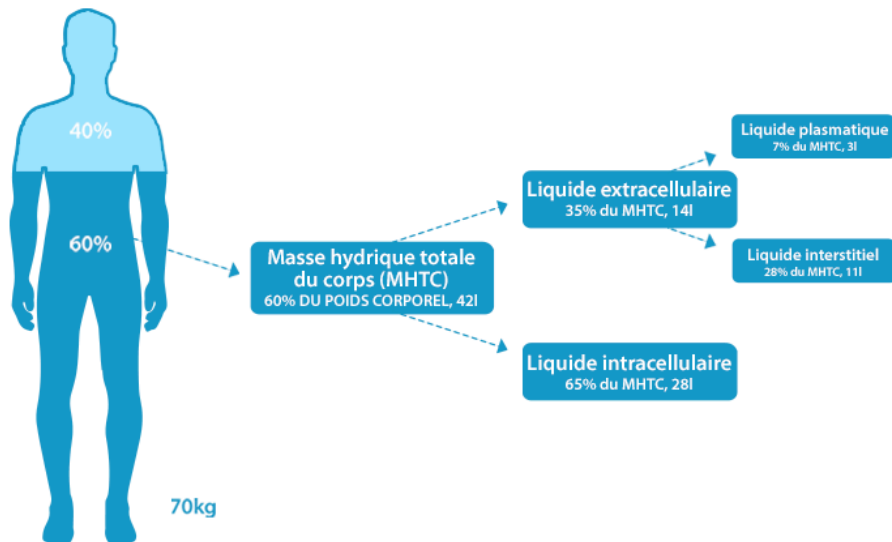
##### *4.1 Répartition de l'eau dans le corps*

L'eau est répartie dans le corps entre deux compartiments : intracellulaire et extracellulaire.

Le compartiment intracellulaire est le plus important, car il représente les deux tiers de la masse hydrique.

Le compartiment extracellulaire, représente environ un tiers de la masse hydrique, et contient le liquide plasmatique et le liquide interstitiel.

L'eau ingérée doit compenser celle que nous éliminons sous forme de sueur (un demi-litre par jour), d'urine (un litre par jour) ou de respiration (un demi-litre par jour).



**Figure 9 : Répartition de la masse hydrique dans le corps (12)**

#### 4.2 Les sources d'eau

Les apports d'eau proviennent de trois sources principales : l'eau des boissons, l'eau des aliments et l'eau produite par le métabolisme. L'eau pure et les boissons représentent la majorité des apports totaux en liquides, en moyenne 70 à 80 %. L'eau contenue dans l'alimentation, notamment les fruits et les légumes, varie selon les aliments, elle représente 0,5 à 1L d'eau par jour soit environ 20% des apports totaux en eau.

L'apport d'eau totale (aliments et boissons) recommandée est aux alentours de 2,5L pour les hommes et 2L pour les femmes. L'apport quotidien d'eau doit être adapté en fonction du sexe, de l'âge, de l'activité physique ainsi que des conditions climatiques.

#### 4.3 Les pertes en eau

Les principales sources de perte d'eau par le corps viennent des urines et de la sueur. Les pertes insensibles en eau correspondent aux pertes en eau dues à la respiration et à l'évaporation cutanée. Elles sont dites insensibles car nous ne les percevons pas.

Chez l'adulte, cette eau perdue à travers la peau (perspiration insensible) correspond à 450 ml par jour. La perte en eau se fait également par l'évaporation pulmonaire lors de la respiration. Cela représente 250 à 300 ml par jour. Elle augmente avec l'activité physique.

Les pertes urinaires représentent la perte en eau la plus importante chez les adultes en bonne santé qui ne pratiquent pas d'exercice physique. Le volume d'urine peut énormément varier, allant de 500 ml à plusieurs litres par jour.

Lorsque la température corporelle interne augmente, le seul mécanisme permettant d'augmenter les pertes de chaleur est la stimulation des glandes sudoripares. La sueur est composée d'eau mais aussi de vitamines et minéraux. L'évaporation de l'eau via la sueur à la surface de la peau est un mécanisme très efficace pour soustraire de la chaleur au corps. La sudation est le moyen le plus efficace pour faire diminuer la température corporelle mais elle est coûteuse pour les liquides de l'organisme.

Une bonne hydratation est importante pour maximiser les performances, prévenir les tensions métaboliques et réguler la température pendant l'exercice. Les athlètes doivent adopter une stratégie d'hydratation appropriée avant, pendant et après l'exercice, en fonction de leurs besoins spécifiques et de leurs pertes de liquide. (13)

De plus, une bonne hydratation est un facteur important pour une performance optimale à l'effort car la déshydratation augmente le risque de blessure. La pratique d'un exercice physique dans des conditions où la température extérieure est élevée peut entraîner une perte sudorale jusqu'à 1 à 2 L par heure. Cette perte d'eau peut entraîner la déshydratation et l'hyperosmolarité du liquide extracellulaire.

Une personne ayant perdu 4 L de sueur sans boire de l'eau présente une diminution d'environ 10 % de l'eau corporelle. La déshydratation et l'hyperosmolarité du liquide extracellulaire peuvent affecter l'état de conscience et sont des facteurs responsables du « coup de chaleur » qui se produit lors d'hyperthermie survenant au cours d'un exercice musculaire prolongé effectué à température ambiante et humidité relative élevées. (14) Les pertes en eau fécale correspondent à environ 200 ml/j, ce qui est relativement faible.

Pour donner une idée, en moyenne, un adulte sédentaire perd 2 à 3 L d'eau par jour.

#### *4.4 Importance de l'hydratation*

L'homéostasie des liquides corporels est primordiale pour le maintien du fonctionnement normal du corps. On observe un effet délétère de la déshydratation sur les performances sportives. En effet, lors d'un exercice physique, se produit la thermolyse (déperdition de chaleur par l'organisme) qui a lieu en 2 étapes : une première qui concerne le transfert de chaleur

provoquée par les muscles vers la surface cutanée, et la deuxième qui correspond au passage de la chaleur de la surface cutanée vers le milieu extérieur.

Travail + chaleur → sudation → perte d'eau.

Les temps d'hydratation les plus appropriés varient pour les sportifs :

- Il faut boire de manière fractionnée avant l'exercice pour prévenir de la déshydratation
- Pendant l'exercice, il faut boire avant la soif
- Après l'exercice il faut continuer de boire

Dans les premières minutes de l'exercice physique, on observe une augmentation de la température au sein du muscle actif. L'élimination de la chaleur vers le milieu extérieur est favorisée par l'augmentation de la température cutanée, elle est assurée par des mécanismes d'échanges thermiques bidirectionnels, et par un processus de perte de chaleur. Lorsque la production de chaleur devient trop importante, l'évaporation (qui comprend la sudation) devient le moyen principal pour permettre la dissipation de chaleur. Le débit sudoral dépend de l'intensité de l'exercice physique, des conditions climatiques et des prédispositions de chacun.

Les muscles étant constitués de près de 75 % d'eau, une perte de poids à l'effort de 2 % fait chuter les capacités physiques du sujet de près de 20 %.

L'effet de la déshydratation sur les performances sportives dépend du type de sport (aérobie sur de longues distances, anaérobie...). La déshydratation ne modifie pas la force musculaire mais altère l'endurance de force. De plus, la déshydratation ne modifie pas les performances pour des efforts courts et intenses (sur le court terme), mais a un impact négatif sur les performances aérobies.

L'hydratation au cours de l'exercice physique est essentielle pour les efforts prolongés, elle doit être adaptée en fonction de la durée de l'exercice, de l'intensité, des conditions climatiques. L'apport de glucides pendant l'exercice prolongé permet d'augmenter les capacités d'endurance, donc il peut être intéressant d'ajouter une petite partie de glucides dans la boisson. La concentration optimale en glucides de la boisson sera déterminée en fonction du but à atteindre.

Les boissons à favoriser doivent être fixées en fonction de l'objectif à atteindre :

- Par temps chaud, il vaut mieux favoriser la disponibilité en eau avec des boissons faiblement concentrées en glucides (30 à 60 g/l)



- Par temps frais ou froid, il vaut mieux favoriser la disponibilité en énergie en utilisant des boissons modérément concentrées en glucides (70 à 90 g/l)

#### 4.5 Quand boire ?

De manière synthétique si on devait se poser la question de quand boire ?

- **Avant** la réalisation de l'épreuve sportive, afin de l'entamer dans un parfait état d'hydratation. En effet, l'hyperhydratation avec des liquides mêlant l'eau et les glycérols augmentera de façon non négligeable le risque de devoir uriner pendant l'épreuve. De plus, cela ne présente aucun bénéfice physiologique ou de performance par rapport à une hydratation normale.
- **Pendant** l'épreuve sportive, avant l'apparition de la soif, qui n'est pas une bonne preuve du niveau d'hydratation. Puis de façon régulière tout au long de l'exercice physique. L'objectif de boire pendant l'exercice est d'éviter un déficit hydrique. La consommation de boissons contenant des électrolytes et des glucides peut aider à maintenir l'équilibre des liquides et des électrolytes et ainsi la performance des exercices. Les liquides contenant du sodium et du potassium aident à remplacer les pertes d'électrolytes par la sueur, tandis que le sodium stimule la soif et la rétention d'eau et que les glucides fournissent de l'énergie.
- **Après** l'épreuve sportive, de façon à restaurer en intégralité son capital hydrique dans les délais les plus courts.

#### 4.6 Que boire ?

Ensuite, peut se poser la question de *Que boire ?* L'équilibre entre l'eau, les électrolytes et les glucides doit être calculé en fonction de la durée et de l'intensité de l'exercice, et surtout des conditions climatiques. En effet, la composition de la boisson est majoritairement dépendante de la notion de priorité qu'il y faut donner entre les besoins en substrats et la compensation des pertes liquidiennes.

#### 4.7 Comment boire ?

Enfin, on peut se demander *Comment boire ?* Théoriquement, le volume à absorber devrait être calculé de manière à compenser en intégralité les pertes et de fractionner les apports de façon à les répéter toutes les 20 min. Cependant, on peut constater qu'il n'est pas toujours facile de respecter de telles recommandations comme par exemple le régime ventilatoire au cours de

l'exercice qui gêne considérablement l'ingestion. D'autre part, certaines activités physiques ont une gestuelle qui ne permet qu'une réhydratation partielle comme la course à pied, au cours de laquelle un certain niveau de déshydratation apparaît inévitable. Il doit néanmoins être limité par l'apprentissage de la prise de boisson et le choix judicieux de celle-ci, au cours des séances d'entraînement.

Pour donner un exemple sur l'évolution des connaissances en matière d'hydratation et ses applications, en 1953, le manuel de l'IAAF (fédération internationale d'athlétisme) adressé aux organisateurs de courses, indiquait que des postes de ravitaillement ne devaient être prévus que pour les marathons et seulement aux 15ème et 30ème km. En 2009, les nouvelles directives indiquent que de l'eau doit être disponible au départ et à l'arrivée de toutes les épreuves. Pour les épreuves jusqu'à 10 km, il faut prévoir des postes de ravitaillement tous les 2 ou 3 km et pour les épreuves plus longues, il faut prévoir des postes de ravitaillement tous les 5 km.

#### *4.8 Risque de la déshydratation chez le sportif*

Enfin un risque majeur reste la déshydratation. Une déshydratation mineure – soit environ 2% de perte d'eau – s'accompagne d'une baisse de 20% des performances sportives. Lorsque la perte d'eau s'élève à 4%, la baisse de performance peut varier entre 40 et 60%. De plus, plus il fait chaud, plus la performance s'amointrit. Les coureurs d'athlétisme ont longtemps évité de boire de l'eau avant l'effort, pensant qu'une légère déshydratation était plutôt bénéfique. Pourtant, entre 1940 et 1970, le monde scientifique mettait déjà en évidence l'importance d'une bonne hydratation pour les sportifs par de nombreuses études menées chez l'homme. En outre, une déshydratation peut avoir des conséquences sur la santé du sportif :

- Altération des capacités intellectuelles
- Vertiges
- Troubles musculaires et tendineux (claquages, elongations, contractures)
- Troubles digestifs
- Troubles cardiaques
- Coup de chaleur pendant l'exercice

D'une façon générale, la réduction de la performance est proportionnelle au niveau de la déshydratation exprimée en pourcentage de masse corporelle

La déshydratation altère diverses composantes des capacités cognitives. Une diminution des performances est observée dans des épreuves impliquant l'habileté psychomotrice, de sorte que

le temps nécessaire à la prise de décision est augmenté. Cette dégradation des performances est significative à partir de 2 % de perte de masse corporelle. Ceci peut avoir un retentissement important dans les disciplines sportives où la tactique et la perception du jeu restent primordiales, comme c'est le cas dans les sports collectifs ou le tennis par exemple.

## D. Apports nutritionnels en micronutriments

### 1. Vitamines

#### *1.1 Rôle des vitamines*

Les vitamines sont des substances sans valeur énergétique mais ayant un rôle primordial pour l'organisme. Notre corps n'est pas capable de fabriquer les vitamines (sauf pour les vitamines K et D) et nécessite donc d'être apportées par l'alimentation. Les vitamines sont essentielles dans de nombreuses fonctions biologiques comme la croissance, le fonctionnement et l'entretien du corps.

Normalement, une alimentation équilibrée permet de couvrir les besoins en vitamines dont le corps a besoin. Un apport suffisant en vitamines permet de prévenir un certain nombre de pathologies. Cependant, un apport excessif en vitamines n'améliore pas les capacités de l'organisme et peut engendrer une toxicité.

#### *1.2 Type de vitamines*

On peut classer les vitamines en deux catégories :

- Les vitamines liposolubles : elles se dissolvent et sont stockées dans les graisses, ainsi il n'est pas nécessaire de les consommer quotidiennement. On retrouve les vitamines A, D, E, K. Elles sont principalement apportées par les aliments d'origine animale et les huiles végétales.
- Les vitamines hydrosolubles : elles se dissolvent dans l'eau et ne sont pas stockées dans l'organisme, ainsi si l'alimentation n'apporte pas régulièrement les vitamines hydrosolubles nécessaires, des carences vont apparaître rapidement. On retrouve les vitamines du groupe B et C. Ces vitamines sont retrouvées dans la plupart de nos aliments.

### Les vitamines liposolubles :

- La vitamine A → elle a un rôle essentiel dans la vision. Elle est également impliquée dans le système immunitaire, le renouvellement des tissus, a un rôle antioxydant... La vitamine A est retrouvée majoritairement dans les foies de poisson et animaux d'élevage.
- La vitamine D → elle a pour rôle principal d'augmenter les concentrations de calcium et de phosphore dans le sang. Ainsi en maintenant un taux de calcium suffisant dans le sang, cela permet d'avoir une minéralisation optimale des os ainsi qu'une contraction musculaire efficace. Les besoins en vitamine D sont couverts par l'exposition au soleil et la consommation d'aliments tels que les poissons gras, le chocolat noir, le jaune d'œuf...
- La vitamine E → elle a un rôle antioxydant
- La vitamine K → elle permet la synthèse des facteurs de coagulation ainsi que la fixation du calcium.

### Les vitamines hydrosolubles :

- La vitamine C → intervient dans la défense contre les infections, permet l'assimilation et l'absorption du fer et a un pouvoir antioxydant. On en retrouve dans le cassis, poivron, persil frais, kiwi
- La vitamine B1 → elle a un rôle dans le métabolisme énergétique des glucides
- La vitamine B2 → elle est impliquée dans l'ensemble des réactions biochimiques de production d'énergie à partir des glucides et des lipides
- La vitamine B3 → elle intervient dans la constitution des systèmes enzymatiques essentiels au métabolisme des glucides, lipides et protéines. Elle participe à la fourniture d'énergie.
- La vitamine B5 → a un rôle dans le métabolisme des glucides, des lipides et des acides aminés
- La vitamine B6 → est impliquée dans le métabolisme des protéines
- La vitamine B8 → a un rôle dans de nombreuses réactions biochimiques qui interviennent dans le métabolisme des glucides, lipides et des protéines.
- La vitamine B9 → a un rôle essentiel dans la production d'ADN et ARN ainsi que dans la production des acides aminés
- La vitamine B12 → nécessaire à la formation des globules rouges

### *1.3 Importance des vitamines dans les performances sportives*

Les recherches de ces dernières décennies ont permis de montrer l'importance des vitamines dans les performances sportives. En effet, la dégradation du statut de l'ensemble des vitamines hydrosolubles du groupe B (B1, B2 et B6) se traduit par une diminution des performances physiques. (15)

Un apport adapté en vitamines B est important afin de permettre une production d'énergie idéale ainsi que la construction et la réparation du tissu musculaire. Les vitamines du groupe B ont deux fonctions principales qui ont un rôle dans la réalisation d'un exercice physique. La vitamine B1 (thiamine), la vitamine B2 (riboflavine) et la vitamine B6 (pyridoxine), participent à la production d'énergie pendant l'exercice, tandis que la vitamine B12 est essentielle à la production de globules rouges, à la synthèse des protéines, à la réparation et à l'entretien des tissus. (16)

Une légère carence en l'ensemble des vitamines B1, B2 et B6 se traduit par une diminution d'environ 12 % de la puissance maximale aérobie. Cependant, l'apport en excès de ces vitamines n'améliore pas les performances pour autant, car bien que les vitamines soient importantes pour le sportif (comme pour le non sportif), rien ne semble montrer une nécessité d'apport supplémentaire car les vitamines sont apportées par une alimentation équilibrée. Donc les sportifs qui se dépensent plus, ont un apport alimentaire plus conséquent, ce qui permet de compenser ce besoin plus accru de vitamines.

### *1.4 Carence en vitamines B pour les sportifs surentraînés et pour les végétariens*

Cela peut poser problème éventuellement pour les sujets surentraînés dans les sports d'endurance. En effet, les besoins en vitamines du groupe B sont légèrement augmentés pour les sportifs de force, où les besoins en vitamine B6 sont supérieurs aux sujets sédentaires. Également dans des sports à catégories de poids, la possibilité de restriction volontaire d'apport alimentaire dans le but de passer dans une catégorie de poids inférieure, peut représenter une situation à risque. Il faudra être vigilant et s'assurer que les apports en vitamine B sont suffisants.

Chez les sportifs végétariens ou végétaliens, une vigilance doit être faite sur d'éventuelle carence en vitamine B12. En effet, la vitamine B12 est très recherchée par les végétariens car elle est contenue principalement dans la viande. Certains produits transformés contiennent un

supplément de vitamine B12. Les substituts de produits laitiers comme le lait soja, le tempeh, certaines céréales ou encore la levure de bière en contiennent.

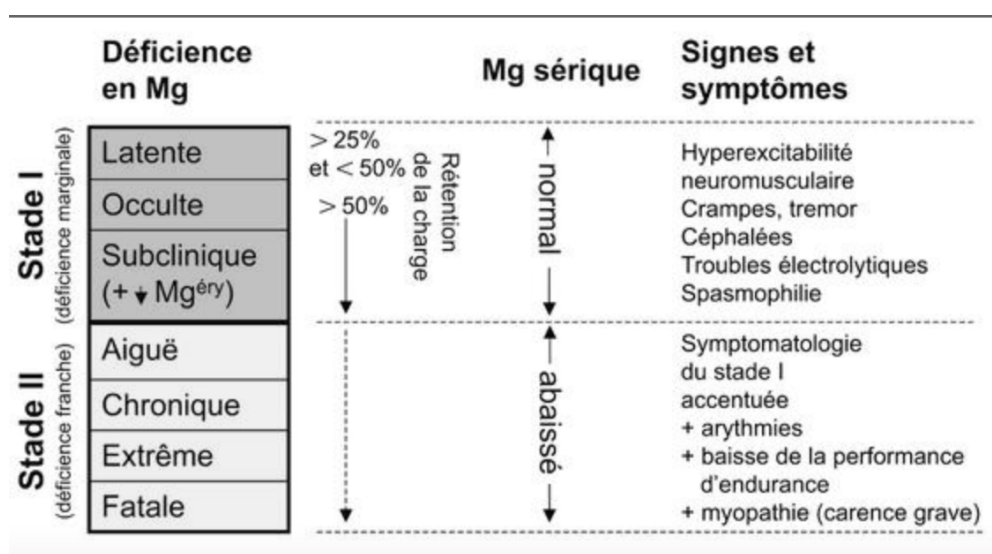
Ainsi lorsqu'on est végétarien il est important de consommer des suppléments de vitamine B12. Les végétariens consommant des œufs et des produits laitiers tous les jours diminuent les risques de carence. Les végétariens, qui font le choix de ne pas consommer d'aliments d'origine animale, sont donc plus exposés à un risque de carence. Selon étude allemande de 2001, 1 végétarien sur 3 et presque 1 végétalien sur 2 sont carencés.

## 2. Minéraux

### Magnésium

Ce qui peut également poser problème sont les pertes en magnésium qui se perdent majoritairement lors de la sudation. C'est particulièrement le cas chez les sujets qui pratiquent régulièrement dans une ambiance chaude à une intensité élevée de leur activité (pratiquants des sports en salle et compétiteurs des mois d'été, par exemple). Ainsi le manque de magnésium va se manifester par de la fatigabilité, des difficultés d'endormissement, des crampes nocturnes, des tressautements de paupières, fourmillements dans le bout des doigts.

Un manque de magnésium nuit donc aux aptitudes à l'effort car il affecte la production d'énergie et l'activité musculaire. Cela se traduit par une mise en réserve du glycogène limitée dans le muscle même en cas d'apports glucidiques avant une compétition. Ce manque de magnésium augmente alors les risques d'un manque prématuré de carburant en cours d'épreuve sportive, d'une libération plus importante d'acide lactique.



## Figure 10 : Classification de la déficience en magnésium (17)

D'une manière générale, les apports en magnésium sont proportionnels aux apports d'énergie. Autrement dit, tant que les sportifs ont une alimentation équilibrée et en quantité suffisante, une déficience en Magnésium est peu probable. Ce sont essentiellement les groupes de sportifs ayant tendance à limiter leurs apports caloriques, soit en rapport avec le type d'activité sportive (par exemple gymnastique, course d'endurance longue), soit parce qu'ils suivent une diète pauvre en calories, qui sont les plus exposés et qu'il convient par conséquent de surveiller. La même remarque s'applique d'ailleurs à la plupart des autres nutriments essentiels, notamment le fer.

### **Fer**

Le fer peut être diminué et être à l'origine de carence lors de la pratique d'activité sportive de manière régulière. Lors de la pratique sportive, il y a une ischémie intestinale (chute de l'irrigation de l'intestin au profit de celle des muscles, de la peau et du cerveau) qui accompagne l'effort physique et qui est un facteur d'agression de la muqueuse et d'émission de sang dans les selles, ainsi que les microtraumatismes rencontrés dans les efforts d'endurance en course à pied qui peuvent augmenter les pertes en fer. L'absence et l'insuffisance d'hydratation à l'effort aggravent ce phénomène. C'est surtout la baisse des performances sportives qui incite le praticien à s'interroger sur un possible déficit en fer. Une complémentation en fer ne sera réalisée que lorsque qu'une carence martiale est avérée.

De plus, dans les milieux sportifs, les phénomènes de mode ne sont pas rares, et peuvent jouer un rôle délétère sur la santé de l'athlète, mais aussi sur son niveau de performance en cas de régimes déséquilibrés.

### **Calcium**

Parmi les minéraux qui vont poser un problème en cas de carence, se trouve le calcium, d'autant que le calcium est très important chez le sportif. Le calcium joue un rôle essentiel dans le maintien de la structure osseuse mais aussi dans la contraction musculaire. Une alimentation carencée en calcium dégrade la qualité de la contraction musculaire et nuit donc à la performance, et la densité osseuse diminue ce qui favorise le risque de fracture.

Ainsi, chez le sportif, le rôle du calcium sur les fonctions d'excitabilité neuromusculaire permet d'évoquer en situation de carence, une fatigabilité à l'effort, une altération des performances en termes de récupération, de coordination et de vitesse. Mais le calcium intervient également dans un autre mécanisme indispensable aux sportifs : celui de la production d'énergie. Il participe également à la dégradation du glycogène en glucose, en fournissant ainsi de l'énergie à l'organisme.

## II. Physiologie du Sport

L'activité musculaire est à l'origine de toutes les dépenses d'énergie qui interviennent en plus du métabolisme de base. La contraction musculaire est associée à la consommation d'ATP, dont le renouvellement est assuré par le métabolisme aérobie et la glycolyse anaérobie.

Les fibres musculaires de types I et II sont respectivement spécialisées dans le métabolisme aérobie et la glycolyse anaérobie.

Le muscle assure deux fonctions principales :

- La fonction mécanique, qui assure la production de mouvements
- La fonction métabolique, qui présente plusieurs aspects. D'un côté, elle assure le renouvellement de l'ATP consommé pendant le travail mécanique, et de l'autre, l'augmentation générale du métabolisme qu'elle implique détermine une mobilisation des substrats énergétiques de l'ensemble de l'organisme

La quasi-totalité de l'énergie dépensée en supplément du métabolisme de repos résulte de l'activité musculaire. Celle-ci intervient lors de toutes les activités, allant des activités personnelles aux performances sportives.

### A. Les effets physiologiques de l'activité physique

Les muscles sont constitués de fibres musculaires. Ces fibres contiennent à l'intérieur des filaments de protéines imbriqués les uns dans les autres. Lors d'une contraction, les fibres stimulées par les impulsions nerveuses venues des cellules nerveuses, vont glisser les uns le



long des autres, induisant un raccourcissement. Le muscle se contracte alors. Cette contraction nécessite de l'énergie chimique qui est fournie par l'hydrolyse d'adénosine-triphosphate (ATP). Le muscle squelettique a une place primordiale car il est le seul organe à pouvoir transformer de l'énergie biochimique en travail mécanique externe. Pour exercer cette fonction, il a besoin d'un apport adapté de substrats énergétiques comme le glucose, les acides gras, et d'un apport d'oxygène. Ces fonctions sont remplies par les organes de stockage, comme le foie et les adipocytes. La contraction musculaire est à la base de l'activité physique, elle est le fruit de la transformation d'énergie chimique en énergie mécanique par glissement des filaments de protéines contractiles (l'actine et la myosine). Lors d'une activité physique, les muscles vont être sollicités différemment en fonction de la durée et de l'intensité de l'effort physique.

On retrouve plusieurs types de fibres musculaires :

- On a des **fibres musculaires de type lent (I)** qui se définissent par la lenteur de leur vitesse de contraction, la faible valeur de leur puissance mécanique, et leur résistance à la fatigue. Ces fibres peuvent se contracter un grand nombre de fois, et vont permettre une activité plus longue sur la durée.
- On a des **fibres musculaires de type rapide (II)** qui se définissent par leur contraction rapide et leur puissance élevée mais elles se contractent peu de fois à la suite. Elles sont rangées en rapides-fatigables ou rapides-résistantes, en fonction de leur résistance à la fatigue. Ces fibres sont sollicitées dans des sports comme le tennis, le football, la course de vitesse.

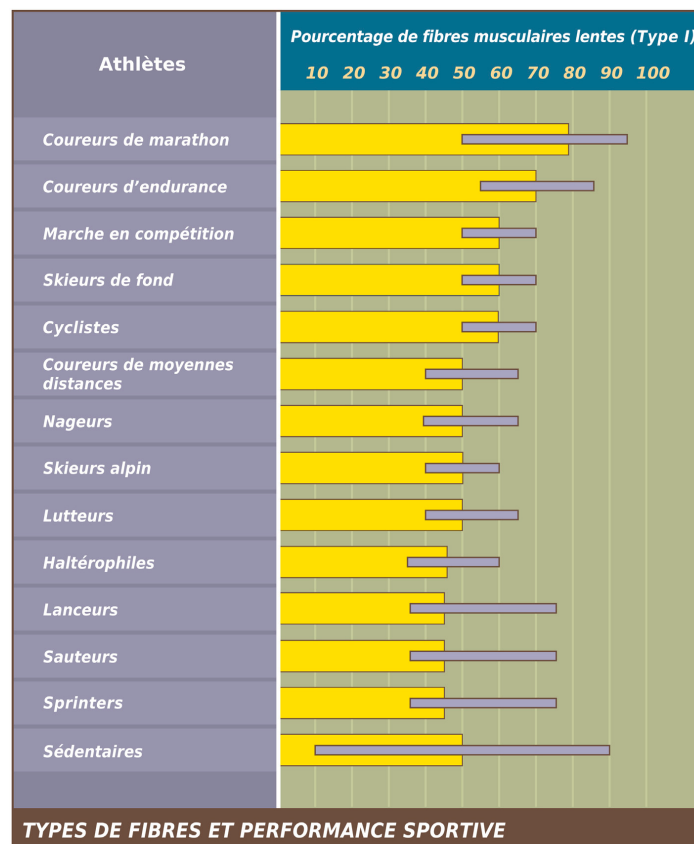
Les fibres de type I ont un métabolisme aérobie, c'est à dire qu'elle fonctionne uniquement en présence d'oxygène. Elles sont capables d'utiliser des substrats glucidiques ou lipidiques. C'est la voie prépondérante pour les sports d'endurance, de fond comme les marathons, triathlons, cyclisme. Cette filière assure la totalité de l'apport d'énergie sur ces épreuves d'une grande capacité. Les fibres de type I mettent trois fois plus de temps à se contracter après la stimulation par rapport aux fibres de types II. Les fibres de type I sont conçues de manière à pouvoir continuer à fonctionner pendant de longues périodes.

Les fibres de type II sont classées en deux sous-groupes :

- Les fibres rapides résistantes à la fatigue IIA. Les propriétés des fibres intermédiaires sont une **combinaison** entre celles des fibres rapides et des lentes. Dans les muscles contenant un mélange de fibres rapides et moyennes, la proportion peut varier en fonction de la condition physique. Par exemple, si un muscle est utilisé de manière répétée pour des tests de résistance, certaines des fibres rapides

développeront l'apparence et les capacités fonctionnelles des fibres intermédiaires. Le muscle dans son ensemble devient donc plus résistant à la fatigue.

- Les fibres rapides fatigables IIB ont un métabolisme essentiellement anaérobie. Concernant la fatigue, les fibres rapides sont rapidement épuisées car leur contraction nécessite l'utilisation de l'ATP en quantités massives ; l'activité de longue durée est principalement soutenue par le métabolisme anaérobie. Elles sont appelées fibres rapides, car elles peuvent se contracter en 0,01 seconde ou moins après la stimulation.



**Figure 11 : Pourcentage de fibres musculaires lentes en fonction du type de sport pratiqué**

Comme le montre la figure ci-dessus, un marathonien possède 80% de fibres lentes versus 50% pour un haltérophile. Bien entendu, il existe une variabilité interindividuelle importante, avec au final une fourchette de 50 à 95 % selon l'individu marathonien.

La génétique pourrait avoir une place dans la performance comme les études tendent à le montrer. Pour exemple, les sprinters ont une probabilité trois fois plus élevée de posséder le gène Alpha-actinin 3, un gène impliqué dans la fonction des fibres musculaires rapides que d'autres sportifs d'autres disciplines. De même, chez certains haltérophiles, on trouve la mutation d'un gène empêchant la production de la myostatine fonctionnelle entraînant la prise de masse musculaire.

## B. Sources d'énergies

### 1. Généralités

Les substrats énergétiques sont stockés dans le foie, le muscle et les adipocytes. Ils sont représentés par les réserves en glucides, les réserves lipidiques et les protéines. Leur niveau d'utilisation et le choix du type de substrat dépendent du type d'activité musculaire. En effet, on a les activités physiques très courtes et intenses qui utilisent majoritairement le métabolisme anaérobie, et des activités prolongées qui utilisent exclusivement le métabolisme aérobie. L'utilisation des différentes sources d'énergie dépend des conditions de l'effort, de son intensité, de sa durée et de l'état initial du stock des différents substrats.

Lors d'un effort physique on a 3 sources d'énergie :

- Source anaérobie → L'énergie est d'origine anaérobie lorsqu'elle est libérée à partir des substrats en l'absence d'oxygène. C'est le cas dans les premières minutes d'un effort sportifs, les fibres musculaires utilisent lors de la contraction, comme énergie, les réserves d'ATP, de phosphocréatine et de glucose. Une activité est considérée comme anaérobie lorsque la majorité de l'énergie nécessaire est d'origine anaérobie. Ces activités ont généralement une durée inférieure à deux minutes et impliquent une puissance ou une intensité élevée.

On distingue deux systèmes anaérobies :

- Alactique → pour des efforts de moins de 30 secondes, principalement dans les sports explosifs tels que l'haltérophilie, lancers... Il n'y a pas besoin d'oxygène
- Lactique → pour des efforts de moins de 3 min.

Des exemples d'activité anaérobie comprennent notamment le sprint sur 100 mètres, les squats et les tractions.

- Source aérobie → L'énergie est d'origine aérobie lorsque l'oxygène est utilisé pour métaboliser les substrats dérivés des aliments, libérant ainsi de l'énergie. Une activité est qualifiée d'aérobie lorsque la majorité de l'énergie nécessaire est d'origine aérobie. Ces activités ont généralement une durée supérieure à 90 secondes et impliquent une puissance ou une intensité faible à modérée. À titre d'exemples d'activité aérobie, on peut citer la course sur un tapis de course pendant vingt minutes ou la natation sur plus d'un kilomètre. Selon que l'on soit dans un sport de vitesse, d'endurance ou de force les filières énergétiques utilisées ne seront pas les mêmes. La source aérobie permet d'obtenir une plus grande quantité d'énergie que la source anaérobie.

Les réserves de graisse corporelle et de glucides représentent les principales sources de carburant pour l'exercice. Alors que les sources de graisse (acides gras libres plasmatiques dérivés du tissu adipeux et triglycérides intramusculaires) sont relativement abondantes, les sources d'hydrates de carbone (glucose plasmatique dérivé du foie ou de l'apport alimentaire en hydrates de carbone, et réserves de glycogène musculaire) sont limitées.

## 2. Réserves glucidiques

Lors de la consommation alimentaire du glucose, une grande partie va être stockée sous forme de glycogène au niveau musculaire et en plus faible proportion au niveau du foie (environ 10%). En effectuant un repas riche en glucose les jours précédents une épreuve, le sportif peut presque doubler ces réserves en glycogène. Ceci est important car les facteurs qui vont avoir un impact négatif sur la performance sont l'épuisement des réserves de glycogène qui survient entre 90 et 120 min à 75 % de la  $VO_{2max}$ . L'épuisement du glycogène musculaire est responsable d'une fatigue locale musculaire. Il existe une relation entre l'épuisement du glycogène et la diminution de la capacité à produire un exercice physique de niveau élevé. Lors de la déplétion des réserves musculaires en glycogène, la resynthèse en glycogène débute pour atteindre 50% au bout de 5h et 100% à 24h. La restauration des réserves en glycogène sera plus rapide s'il y a du glucose à disposition. Il est donc important pour une durée d'effort supérieur d'apporter des glucides par une boisson d'effort (30-50g/l) de glucides, puis pendant la phase de récupération.

La libération de glucose hépatique augmente progressivement au cours de l'exercice musculaire, et lors d'un exercice intense, le débit peut être de quatre à cinq fois supérieur au

débit de repos, ce qui permet un apport de glucose important au corps lors d'un exercice physique. Cela permet de maintenir la glycémie, en dehors des apports alimentaires.

Il existe deux voies métaboliques contribuant à la production de glucose hépatique :

- La glycogénolyse
- La néoglucogenèse

En début d'exercice, la glycogénolyse est la voie majoritaire. La néoglucogenèse devient prépondérante lors d'un exercice prolongé. La néoglucogenèse est mise à contribution avant l'épuisement du glycogène hépatique, elle remplace progressivement la glycogénolyse hépatique.

Lorsque l'exercice physique devient prolongé et assure la presque-totalité de la production de glucose lorsque l'exercice physique dépasse 3 ou 4 heures. Ainsi, il semblerait que le principal facteur à l'origine de l'épuisement soit la diminution du glycogène hépatique qui a des conséquences sur la glycémie.

### 3. Réserves lipidiques

Pour des exercices de faible intensité et de très longue durée, comme une marche de fond, un ironman..., l'utilisation des lipides permet de subvenir en partie à la diminution des réserves en glucides. Le tarissement des réserves en glycogène s'accompagne d'une baisse du taux d'insuline plasmatique. L'insuline étant un inhibiteur de l'enzyme lipase, cela va avoir pour conséquence d'avoir une lipase active et la lipolyse sera alors stimulée, permettant ainsi l'utilisation des acides gras comme source énergétique.

La capacité de mobilisation et d'utilisation des acides gras libres circulants est donc primordiale lorsque l'exercice physique devient prolongé. Ils remplacent les substrats glucidiques dans le métabolisme musculaire. Ainsi, le pourcentage de l'énergie fournie par l'oxydation des lipides augmente en fonction de la durée de l'effort. Pour une durée de course de 30 minutes, le pourcentage est de 10 %, il passe à 30 % pour 2 heures, et dépasse 60 % au-delà de 3 h 30. Une partie des lipides utilisés lors de l'exercice musculaire provient des triglycérides stockés dans le muscle, l'autre partie provient des lipides circulants.

#### 4. La VO<sub>2</sub>max

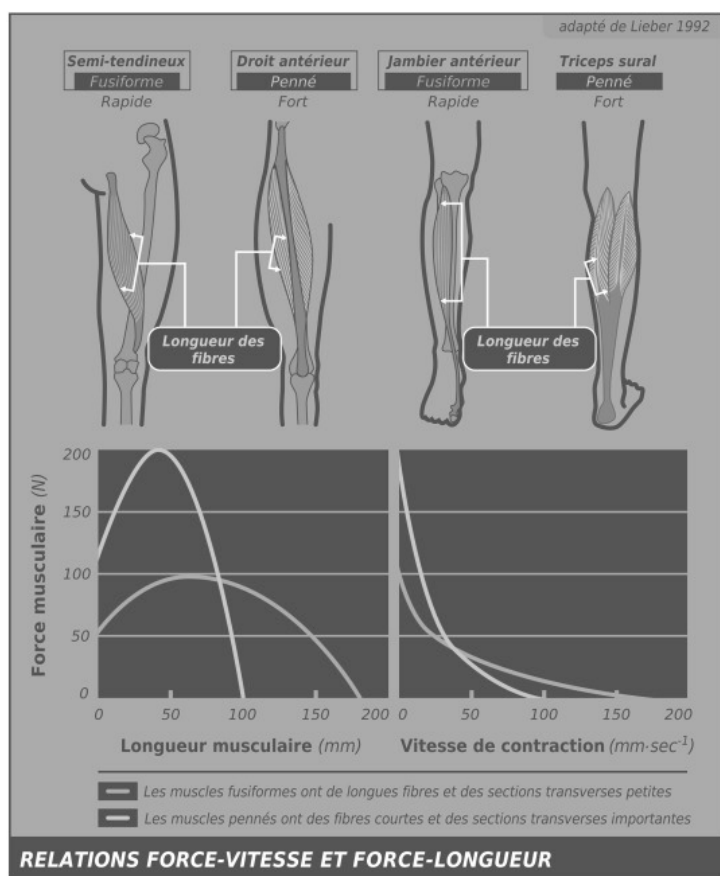
La VO<sub>2</sub>max (V pour "volume", O<sub>2</sub> pour « oxygène », max pour « maximal ») est l'abréviation de « consommation maximale d'oxygène ». Elle représente le débit maximal d'oxygène que peut consommer l'organisme lors d'un effort. Autrement dit, c'est la quantité maximale d'oxygène que le corps est capable d'extraire de l'air, puis de transporter jusqu'aux fibres musculaires lors d'un exercice.

Lorsque l'intensité de l'exercice passe d'une intensité modérée (c'est-à-dire 65 % de la VO<sub>2</sub>max) à une intensité élevée (85 % de la VO<sub>2</sub>max), la glycolyse musculaire, la glycolyse hépatique et l'absorption de glucose augmentent de sorte que le métabolisme des glucides devient majoritaire. Par contre, on observe une réduction de l'oxydation des lipides dans l'ensemble de l'organisme, due à une réduction des acides gras libres plasmatiques et de l'oxydation des triglycérides intramusculaires. Les taux maximaux d'oxydation des lipides sont considérés comme se produisant autour de 65% de la VO<sub>2</sub>max. Cependant cela varie selon le niveau d'entraînement, le sexe, l'âge.

A l'inverse de l'exercice de haute intensité, l'exercice prolongé à l'état d'équilibre pendant plusieurs heures se traduit par une augmentation de l'oxydation des lipides et une réduction des taux d'oxydation des glucides.

#### C. Sports de force et sports d'endurance

Lorsque l'on essaie de modéliser les effets de l'entraînement sur le muscle, on différencie la pratique des sports d'endurance à celle des sports de force/vitesse. Les athlètes pratiquant un sport d'endurance ont plus de fibres lentes de type I dans les muscles. Les athlètes pratiquant un sport de force présentent augmentation de la proportion de fibres de type rapides. L'entraînement régulier et la musculation permet de développer la masse musculaire avec un diamètre augmenté des fibres musculaires, rendant les fibres plus réactives aux stimuli nerveux. Donc chez les sportifs de force, ceci conduit à un gain à chaque contraction en vitesse et en force. La pratique régulière du sport joue également sur les fibres lentes et permet ainsi d'améliorer les capacités d'endurance du sportif. De plus, on observe une augmentation du nombre de capillaires augmentant l'irrigation des muscles.



**Figure 12 : Relations entre force-vitesse et force-longueur(17)**

Comme le montre la figure ci-dessus, il existe une relation entre la longueur des fibres musculaires au repos et la force. En effet, ce sont les ponts d'union entre l'actine et la myosine qui sont à l'origine de la force de contraction. Plus le nombre de ponts d'union sont élevés, plus la force est importante. Pour exemple, au niveau des muscles pennés (en jaune sur le schéma de droite), les fibres sont courtes et ont des orientations obliques. Le recouvrement entre la myosine et l'actine est important car le sarcomère n'est pas étiré, avec comme conséquence un développement de force. Il existe également une relation entre force de contraction et la vitesse de contraction liée à la vitesse d'attachement et de détachement des ponts d'union. Une plus grande force est atteinte à vitesse faible. Pour imaginer cela, on peut donner l'exemple d'une personne voulant porter à bout de bras, une charge importante. Plus la charge sera lourde, plus la vitesse à laquelle on la portera sera faible.

Le métabolisme anaérobie alactique est la seule source de substrat pour les efforts intenses d'une durée inférieure à quelques dizaines de secondes comme le sprint. Lorsque l'effort

dépasse une dizaine de secondes, le muscle met en action le métabolisme anaérobie lactique. Cette voie métabolique aboutit à la production d'acide lactique. Le métabolisme aérobie concerne les efforts plus prolongés. Les substrats glucidiques et lipidiques couvrent la majorité des dépenses, l'oxydation des acides aminés est moins importante, mais joue un rôle important dans le processus de survenue de la fatigue.

Par exemple pour les sports endurance, la dépense est liée au coût de l'effort physique. Tandis que pour les sports de force les dépenses sont plus liées au coût du développement de la masse musculaire. Pour donner un ordre d'idée un sport d'endurance peut se traduire par une dépense énergétique allant de 3100 à 6100 kcal/j. Tandis que pour un sport de force, la dépense énergétique varie plus autour de 2900 kcal/j.

Ainsi, les recommandations d'apports nutritionnels sont variables selon que l'on pratique un sport d'endurance ou un sport de force. Chez les sportifs pratiquant un sport d'endurance, les glucides ont un rôle primordial et deviennent le substrat principal pour des exercices où l'on se rapproche de la puissance maximale. C'est pourquoi le maintien d'une disponibilité en glucose suffisante dès « le début, et au cours de l'exercice, est une assurance d'optimisation des performances et de recul de la fatigue. » (7)

De plus, selon le type de sport que l'on pratique les attentes en termes de physique et de poids ne sont pas les mêmes. Comme par exemple, les athlètes de force souhaitent obtenir de manière général un faible taux de graisse corporelle. Dans les sports impliquant des divisions de poids (comme les sports de combat et l'haltérophilie), les athlètes visent le taux de masse corporelle le plus bas possible tout en maximisant leur masse maigre. D'autres athlètes souhaitent maintenir une faible masse corporelle et/ou un faible taux de graisse corporelle pour bénéficier d'avantages comme dans les coureurs de fond et les cyclistes.

L'entraînement d'endurance augmente la capacité des muscles squelettiques à stocker le glycogène et les triglycérides ce qui permet d'augmenter la disponibilité des substrats. Ce n'est pas le cas pour le foie. Pour ce qui est de l'utilisation des substrats pendant l'exercice après un entraînement d'endurance, la réponse la plus importante est une réduction de l'utilisation des glucides avec une augmentation de l'oxydation des lipides.



### III. Alimentation adaptée chez le sportif

#### A. Généralités

##### 1. Principes de base d'une alimentation équilibrée

La nutrition dans le sport a pour objectif d'avoir une couverture complète des besoins nutritionnels ainsi que d'optimiser les performances sportives. Avant que le sportif n'optimise son alimentation pour améliorer ses performances, on doit s'assurer qu'il respecte déjà les principes de base d'une alimentation équilibrée pour la population générale, ce qui lui permettra de couvrir ses besoins en macro et micronutriments.

Le sportif doit suivre les recommandations du Plan national nutrition et santé (PNNS). Ces recommandations sont notamment la consommation de 5 fruits et légumes par jour, de légumes secs au moins deux fois par semaine, de féculents et céréales complets au moins une fois par jour, ainsi que de deux produits laitiers par jour comme présentées dans le cadre du Plan national nutrition et santé (PNNS). Le dernier PNNS 4 recommande aussi de varier les graisses en privilégiant les huiles de colza, de noix et d'olive, et d'ajouter dans son alimentation une petite poignée de fruits à coques par jour.



**Figure 13 : Recommandations PNNS4 (18)**

Une bonne alimentation est essentielle pour qu'un athlète puisse optimiser ses performances à l'entraînement et en compétition. Les athlètes doivent pouvoir satisfaire leurs besoins

alimentaires en mangeant une grande variété de sources d'aliments complets. De plus, une augmentation de la dépense énergétique conduit à une augmentation des besoins.

L'augmentation des besoins peut être due à :

- La dépense dû à l'exercice lui même
- Une augmentation du métabolisme de base
- Une augmentation de la dépense au repos après la fin de l'effort physique
- Une augmentation des dépenses énergétiques due à l'activité quotidienne (hors pratique sportive).

## 2. Équilibre alimentaire

L'équilibre alimentaire d'une manière générale, consiste à avoir une alimentation qui couvre tous les besoins d'un point de vue quantitatif et qualitatif. Pour cela, il faut :

- Veiller à l'équilibre entre besoins et apports
- Veiller à l'équilibre des macronutriments
- Assurer la couverture en micronutriments/minéraux/vitamines par la variété alimentaire
- Faire 3 ou 4 repas structurés

Pour le sportif, il est important de maintenir l'équilibre alimentaire sur la longueur. Ceci va lui permettre de maintenir un poids de forme stable, du fait d'une balance énergétique équilibrée (les apports couvrent la totalité des besoins). Le sportif doit avoir conscience qu'il ne doit pas se focaliser uniquement sur la quantité de calories à apporter. La qualité des calories consommées ou plutôt des nutriments, est aussi importante que la quantité.

## 3. Stratégies nutritionnelles

La mise en place d'une stratégie nutritionnelle permet d'améliorer, d'optimiser les performances et d'obtenir une bonne santé. La performance pendant l'effort et la récupération après des activités sportives sont les deux cibles des stratégies nutritionnelles bien choisies. Ces stratégies sont axées sur l'optimisation des apports en macronutriments, micronutriments ou hydriques, des quantités et le moment appropriés de la consommation d'aliments.

### **Substrats à privilégier lors de l'entraînement**

De manière générale, les apports nutritionnels doivent compenser le type de substrat utilisé majoritairement lors de l'exercice. Ce sont principalement les glucides et les acides gras qui sont impactés lors des entraînements. Comme on consomme beaucoup de glucides lors d'un entraînement, il est important d'apporter des glucides. L'utilisation des acides gras dépend de l'état nutritionnel du sportif. En effet, l'utilisation des acides gras est d'autant plus importante lorsque le sujet a réalisé une période de jeûne avant la survenue de l'exercice. De plus, l'intensité de l'exercice est le facteur le plus important pour l'utilisation des acides gras.

Pour les exercices de faible intensité le substrat principal est le glucose, les lipides ne sont que peu utilisés. Pour des exercices modérés, on utilise plus de glucides et de lipides. Pour avoir une utilisation des lipides au cours d'un exercice physique, il faut se dépenser pendant plus de 45 min. Mais il faut garder en mémoire que c'est l'intensité de l'exercice qui va conditionner l'utilisation des lipides (plus que la durée). (19)

Pour des exercices de faible intensité (20 à 30 % du  $VO_{2max}$ ), la prise alimentaire avant l'effort provoque une augmentation de la glycémie, ce qui induit une diminution de la lipolyse. Cela a pour conséquence que le corps va utiliser préférentiellement le glucose lors de l'exercice. Mais pour des exercices de plus de 90 minutes, l'utilisation des lipides devient majoritaire comme si le sujet avait commencé son exercice à jeûne. Ceci s'explique par une utilisation préférentielle du glucose en début d'exercice, ce qui à terme diminue les réserves de glucides sous forme de glycogène.

Ainsi, les substrats glucidiques sont majoritairement utilisés en début d'effort, ensuite quand les réserves glycogéniques sont épuisées, les substrats lipidiques prennent le relais. Plus les réserves glycogéniques sont hautes et plus on retarde le moment de fatigue, d'où l'importance chez le sportif des apports (plus importants) en glucides avant et pendant l'effort. A la fin de l'exercice, la glycémie est basse et la concentration d'acides gras plasmatiques est élevée, ce qui est en faveur d'une utilisation des lipides et ceux pendant 2h après l'effort.

### **Substrats à utiliser en post-entraînement**

Après un effort, la récupération nutritionnelle est en effet aussi importante car il faut permettre le retour à l'état de base de l'organisme via :

- La restauration des pertes hydrominérales
- La restauration des réserves en glucose

- Le maintien d'une disponibilité en acides aminés pour permettre les synthèses protéiques musculaires

Cependant, on observe une variabilité individuelle dans la capacité à adapter la prise alimentaire pour compenser la perte énergétique : certains individus ne vont pas augmenter leurs apports alimentaires après une séquence d'activités physiques, d'autres vont ressentir le besoin d'augmenter leurs apports et d'autres encore vont ressentir le besoin de moins manger.

À la fin de l'exercice sportif a lieu la période de récupération, définie surtout par une reprise des synthèses protéiques. L'anabolisme protéique de fin d'exercice dépend de la disponibilité des acides aminés. La reprise des synthèses protéiques dès l'arrêt de l'exercice (alors qu'elles sont diminuées pendant l'exercice) a été démontrée et approuvée par la communauté scientifique. Ainsi c'est bien pendant cette période que la disponibilité en acides aminés devra être optimale pour assurer la reconstruction des protéines détruites lors de la phase d'activité. Chez les sportifs d'endurance, l'apport de protéines de suite après des séances intenses d'entraînement augmente le flux de synthèse des protéines musculaires. A présent, il existe assez d'arguments basés sur les expériences, pour considérer que l'apport de protéines en récupération précoce d'exercices de longue durée contribue à augmenter les flux de synthèse des protéines musculaires, ce qui améliore le remodelage musculaire. L'importance de cet apport précoce a été démontrée dans les suites d'un exercice de 60 min à 60 % de  $VO_{2max}$  ; l'apport de 10 g de protéines 3 h après la fin de l'effort, diminue l'anabolisme musculaire, contrairement à ce qui a été observé lorsque les protéines ont été apportées dès la fin de l'exercice. Ainsi c'est pour cette raison qu'il est maintenant admis que l'apport protéique doit être réalisé dans les 30 à 60 minutes qui suivent l'arrêt de l'exercice.

Pour permettre la restauration des pertes hydrominérales, il peut être nécessaire de boire des boissons contenant de l'eau et des sels minéraux comme le sodium (minérale majoritairement perdu lors de la sudation). Les pertes sodées sont le plus souvent facilement compensées par le sel apporté lors du repas du soir. Le volume de boisson nécessaire afin de compenser les pertes peut être facilement évalué par la double pesée, le volume à consommer correspondant à celui de la perte de poids majorée de 40 à 50 %. (7) La restauration des réserves de glycogène est permise par la consommation de boissons et d'aliments riches en glucides.

Nous verrons plus précisément par la suite, comment optimiser pendant l'effort et en post-effort les apports en glucides et en protéines.

#### 4. Fréquence des repas

Peu d'études sur l'importance de la fréquence des repas, c'est à dire le nombre d'épisodes alimentaires qui ont lieu chaque jour, chez les sportifs ont été réalisés. La plupart des recherches faites à ce sujet ont été réalisées sur des populations non sportives. Longtemps des affirmations disaient que l'augmentation de la fréquence des repas pouvait être une stratégie efficace pour la perte de poids, le maintien du poids et/ou la composition corporelle. Cependant ces recherches ont été invalidées par d'autres études qui ont prouvé qu'il n'y avait pas de lien.

Cameron et ses collaborateurs (20) ont publié une étude qui compare une fréquence de repas plus élevée à une fréquence plus faible. Dans cette étude, 16 hommes et femmes obèses ont réduit leur apport calorique de 700 kcals par jour et ont été attribués à l'un des deux groupes qui avait les mêmes calories par jour mais pas sur la répartition :

- Un groupe devait consommer six repas par jour en les divisant sous forme de trois repas traditionnels et de trois collations
- L'autre groupe devait consommer trois repas par jour

Les changements dans la masse corporelle, les indices d'obésité, l'appétit ont été mesurés à la fin de l'étude qui a duré huit semaines, et aucune différence n'a été relevée entre les deux groupes. (20)

Ces résultats sont en adéquation avec les recherches d'Alencar qui a comparé l'effet de la consommation de régimes isocaloriques composés de deux repas par jour ou de six repas par jour pendant 14 jours chez des femmes en surpoids sur la perte de poids ainsi que sur la composition corporelle. Les résultats concordent avec ceux de Cameron, c'est à dire qu'aucune différence entre les groupes n'a été observée dans les résultats obtenus. (21)

Au final, ce qui est montré et ce qui est important est non pas la fréquence des repas mais l'apport calorique total quotidien.

#### B. Glucides chez le sportif

Le maintien d'une disponibilité suffisante en glucides permet de différer le moment où la fatigue pourra apparaître car l'eau et les glucides sont les nutriments les plus impactés lors d'efforts intenses et durs. Ceci montre la nécessité d'augmenter les besoins en glucides chez le

sportif avant et pendant l'effort. Ainsi, le métabolisme du glycogène permet d'expliquer le rôle des glucides sur les performances sportives. Cependant la consommation excessive au-delà des capacités cellulaires à stocker le glycogène entraîne la transformation et la mise en réserve sous forme de graisses des glucides consommés en excès, ce qui a alors pour conséquence d'augmenter la masse grasse.

Dans les sports d'endurance qui sont des exercices de durée prolongée, les réserves endogènes de glucides, qui se trouvent majoritairement dans le foie et les muscles, sont relativement faibles, et donc la performance de ces sports d'endurance, est souvent limitée par la disponibilité des glucides endogènes. (22)

#### 1. Rôle des glucides sur les performances

Les glucides sont le principal carburant lors d'effort intense et court, ils ont donc un rôle primordial sur les performances sportives. L'épuisement de ces réserves augmente le risque de blessure ou d'épuisement précoce comme le « mur » des marathoniens. De plus, le temps de récupération après l'effort, sera plus long.

Il y a quelques notions incontournables à avoir à l'esprit afin de comprendre le rôle des glucides dans les performances sportives et comment moduler ses effets pour améliorer les résultats :

- Le glycogène musculaire est épuisé pendant l'exercice selon l'intensité
- Les régimes riches en glucides augmentent le stockage du glycogène musculaire et améliorent par la suite la capacité d'exercice
- Le stockage du glycogène musculaire est amélioré après une déplétion préalable du glycogène (c'est-à-dire l'effet de super-compensation), dont l'ampleur dépend de la disponibilité de glucides (23)

Pour des efforts supérieurs à 90 minutes, Hultman et al. ont démontré que l'augmentation des performances pour des efforts prolongés, était corrélée à l'augmentation des réserves glycogéniques musculaires et hépatiques.

## 2. Glycogène musculaire

Le muscle utilise majoritairement les substrats glucidiques autant pour les efforts courts de quelques secondes que pour les efforts durant plusieurs heures. Le degré d'utilisation des glucides dépend de l'intensité de l'effort ainsi que de sa durée. L'épuisement du glycogène musculaire survient après 90 minutes d'exercice à 75% de la consommation maximale d'oxygène ( $\text{VO}_2\text{max}$ ). Il y a un lien entre l'épuisement du glycogène et la diminution des capacités de travail. L'épuisement du glycogène musculaire ne signifie pas l'arrêt du travail musculaire, mais limite fortement la capacité de travail maximal.

Une plus grande disponibilité du glycogène musculaire basal, associée à une moindre dépendance du glycogène musculaire en tant que source de substrat pendant un exercice prolongé comme les sports d'endurance, peut retarder le moment où l'épuisement du glycogène musculaire arrive, ce qui contribue à la fatigue.

Ainsi, un stockage plus important de glycogène musculaire peut être à l'origine d'une plus grande capacité pendant un exercice prolongé.

## 3. Glycogène hépatique

Le foie est le seul organe capable de fournir du glucose en dehors des repas. La production de glucose par le foie augmente pendant l'effort physique. Cette production de glucose par le foie se fait par la néoglucogenèse et la glycogénolyse.

Ces deux voies métaboliques n'interviennent pas au même moment selon l'intensité de l'exercice et la durée. En début d'effort la voie principale est la glycogénolyse, la néoglucogenèse n'apparaît qu'après un exercice de plus longue durée.

La néoglucogenèse remplace progressivement la glycogénolyse hépatique quand l'exercice physique devient prolongé et assure la presque totalité de la production de glucose endogène lorsque l'exercice physique dépasse 3 ou 4 heures. Dans la mesure où la concentration moyenne de glycogène hépatique se situe à 50 g/kg chez l'homme, ce type d'exercice conduit à l'épuisement du glycogène hépatique en deux heures. Ce phénomène est une des causes principales de fatigue lors des efforts prolongés. La déplétion du glycogène hépatique est une cause majeure de la fatigue pendant l'exercice d'endurance. Lors d'un effort prolongé, la



néoglucogénèse ne va plus suffire et on va observer un déséquilibre entre la production de glucose et la consommation par les muscles, ce qui peut aboutir, in fine, à une hypoglycémie.

Les signes cliniques de l'hypoglycémie associent une sensation de malaise, des sueurs profondes, une faim douloureuse avec l'envie soudaine de manger des glucides.

Jusqu'à présent, une grande partie des recherches étaient axées sur l'utilisation du glycogène musculaire, en s'intéressant peu au glycogène hépatique. Or celui-ci a une importance non négligeable dans la pratique sportive. A l'inverse des muscles, les sportifs entraînés dans les sports d'endurance n'ont pas de concentrations basales élevées en glycogène hépatique. Cependant, il existe des preuves que la glycogénolyse hépatique (transformation biochimique du glycogène en glucose) peut être plus faible chez les athlètes entraînés en endurance par rapport aux personnes non entraînés pendant un exercice d'intensité modérée à élevée. L'économie de glycogène hépatique dans un état d'entraînement en endurance peut donc expliquer en partie les adaptations de performance causées par l'entraînement pendant un exercice prolongé (>90 minutes). L'ingestion de glucides à un taux élevé peut anticiper la diminution du glycogène hépatique pendant un exercice d'intensité modérée.

Chez les personnes qui ne pratiquent pas régulièrement un sport, on remarque que les taux de glycogénolyse hépatique augmentent de façon non négligeable lors du passage d'un exercice de faible à forte intensité. L'accélération de la glycogénolyse hépatique avec l'augmentation de l'intensité de l'exercice est diminuée chez les athlètes entraînés en endurance par rapport aux autres personnes non entraînés.

L'abaissement de la glycogénolyse hépatique chez les sportifs d'endurance peut être à l'origine d'une action sur la performance sportive. Si on considère que le volume du foie est de 1,8 L, la teneur en glycogène du foie atteindrait des niveaux très bas après 118 minutes d'exercice à 80 % de la  $VO_2$  chez les personnes non entraînés, ce qui provoquerait l'impossibilité de conserver l'homéostasie du glucose sanguin et cela aurait pour conséquence l'apparition d'une fatigue prématurée. Les athlètes entraînés n'atteindraient pas une teneur en glycogène hépatique basse avant 153 min d'exercice effectué à 80% de la  $VO_2$ , en raison d'un taux plus faible de glycogénolyse hépatique. (22)

Ainsi, il semble que l'entraînement dans les sports d'endurance permette de diminuer l'utilisation du glycogène hépatique et musculaire pendant l'exercice ce qui permet d'améliorer les performances.

#### 4. Nutrition glucidique les jours précédents l'effort physique

Les principes de base de la charge en glucides permettraient de retarder la fatigue de 20% environ en optimisant les réserves de glycogène.

Les premiers protocoles du régime dissocié scandinave, reposaient sur une phase d'épuisement qui correspond à une période d'exercice intense (3j) avec un faible apport glucidique, suivie d'une phase de charge de plusieurs jours de consommation élevée de glucides à un effet de surcompensation qui augmente le stockage du glycogène et ceci associée à plusieurs jours d'augmentation de l'apport en glucides. La période de carence glucidique est justifiée par une augmentation de l'action biologique des systèmes de transport du glucose, et par une augmentation de l'activité des enzymes impliquées dans la glycogénosynthèse. Cela permet d'obtenir des concentrations glycogéniques très élevées lors de la réintroduction des glucides alimentaires. Ce type de régime n'est pas sans conséquence. En effet si l'athlète continue de s'entraîner pendant la période sans glucides, il va ressentir une grande fatigue et on observe une augmentation des blessures. De plus le fait de passer de consommer aucun glucide à plein de glucides peut entraîner des désordres intestinaux.

#### **Quand et en quelle quantité apporter des glucides ?**

Depuis, il a été montré également que la phase d'épuisement du glycogène n'est pas forcément nécessaire. On part sur un régime « semi-dissocié » qui correspond à une surcharge de glucides (70–75 % de la ration contre normalement 50% chez un sédentaire) pendant les trois jours précédents l'épreuve. Il est donc recommandé pour se préparer à un exercice prolongé ou intermittent de plus de 90 minutes, de consommer 10 à 12 g de glucides par jour, par kg de poids corporelle et ceci dans les 72 à 48 heures précédant l'effort. Pendant ces 72h, pensez à réduire l'activité physique pour ne pas puiser dans les réserves.

En effet, les niveaux de réserve de glycogène hépatique et musculaire dépendent uniquement de l'apport alimentaire donc un régime riche en glucides dans les jours qui précèdent une épreuve sportive augmente de façon constante le taux de glycogène de l'organisme. Il a été démontré « que le temps de travail lors d'un exercice d'endurance était réduit sous l'effet d'un régime pauvre en glucides et augmenté à l'issue d'un régime riche en glucides ». L'amélioration la plus visible a été observée dans l'étude de Galbo et al (24), qui ont comparé les effets de deux régimes à 10 et 70 % de glucides. Lorsque les sujets suivent le régime à base de 70% de

glucides, il a été observé une augmentation de 66 % du temps d'endurance. Ceci montre les différences entre un régime carencé en glucose et un régime hyperglucidique. En conclusion, on peut estimer que pour des efforts très prolongés, le régime hyperglucidique comparé à une alimentation normoglycémique apporte un gain non négligeable sur les performances et est donc à conseiller pour les sportifs d'endurance. Par contre, une alimentation habituelle insuffisante en glucides peut diminuer les capacités d'effort en endurance. Dans les sports de force, la surcharge glucidique est moins importante.

### **Quels glucides apporter ?**

Il a été démontré que les aliments à fort indice glycémique sont supérieurs aux aliments à faible indice glycémique pour augmenter le stockage du glycogène. Le stockage du glycogène étant influencé à la fois par l'insuline et par un apport rapide de substrat de glucose, il est logique que les sources de glucides ayant un index glycémique modéré à élevé améliorent le ravitaillement post-exercice mais surtout il faut tenir compte du laps de temps avant l'épreuve.

En effet, une étude sur l'exposition chronique à un régime à index glycémique plus faible chez des personnes actives a mis en avant une diminution du stockage du glycogène musculaire sur 30 jours par rapport aux valeurs avant l'essai et aux valeurs à la fin d'un essai à index glycémique élevé. Ainsi, il semblerait plus raisonnable de ne donner aux aliments à faible index glycémique qu'un rôle mineur sur le long terme. Il faut jouer entre les aliments à indice faible et modéré.

Au quotidien, il est préférable de privilégier des aliments avec un index glycémique faible, comme le fructose présent dans les fruits. On peut conseiller des collations avec un fruit, plusieurs fois par jour. Le galactose et le lactose sont aussi recommandés.

Quand l'épreuve approche (8 à 12 heures avant la compétition sportive), on augmente la proportion de glucides à index glycémique moyen. Cela donne souvent lieu à un rituel qui est la pasta party, avec la veille d'une épreuve, un repas constitué d'une grosse portion de pâtes. Ce repas doit être à base de féculents faciles à digérer (riz ou les pommes de terre).

Pour exemple, on peut réaliser le repas suivant :

- Pâtes (150 à 400 g)
- Viande maigre
- 1 produit laitier

- 1 dessert riche en glucides lents (riz au lait, tarte, gâteau de semoule ou de riz, pain d'épice, etc.)
- 1 fruit.

Le riz cuit a une valeur nutritionnelle comparable à celle des pâtes cuites mais il est seulement plus rapidement digéré. Les graisses doivent être exclus donc éviter viandes et poissons gras, les fromages gras. Éviter les légumes avec pépins et la peau.

#### 5. Nutrition glucidique avant l'effort physique

Attention, le dernier repas doit être digeste et doit être réalisé au moins trois heures avant l'épreuve, d'autant que le niveau de glycogène hépatique est considérablement réduit après un jeûne nocturne. Si l'accès aux glucides pendant l'exercice est limité voire inexistant, l'ingestion de 200 à 300 grammes de glucides 3 à 4 heures avant l'exercice est une stratégie efficace.

Pour exemple, le petit déjeuner s'il est réalisé 3h avant l'épreuve, peut être assez copieux :

- Pain complet, pain grillé, confiture, miel
- Flocons d'avoine
- Fromage/ Jambon maigre / filet poulet/ œuf à la coque
- 1 Yaourt ou fromage blanc ou 250ml de lait 2% ou lait de soja...
- 1 banane ou gâteau de semoule
- 1 Jus de fruit

Juste avant la réalisation d'une épreuve physique, le but va être d'ingérer des glucides dans les heures qui précèdent la pratique de cette activité sportive. Mais, le moment où sont pris les glucides par rapport à l'effort, ainsi que leur nature sont importants.

Des travaux ont montré que le fait de prendre du glucose juste avant l'exercice allait entraîner un pic de glycémie (hyperglycémie) ce qui va engendrer une sécrétion importante d'insuline. Cette forte sécrétion d'insuline peut ainsi provoquer une hypoglycémie réactionnelle en début d'effort. Ce qui amène à l'intérêt des sucres lents ( $\neq$  sucres rapides : glucose).

Pour éviter cette hypoglycémie réactionnelle, il faut privilégier le jour de l'épreuve des aliments à faible indice glycémiques, de telle sorte que la réponse insulinique induite n'entraîne pas d'hypoglycémie réactionnelle au début de la compétition. (25) Il existe des boissons d'attente

à consommer en toutes petites quantités toutes les 30 min, jusqu'à 15 minutes avant l'épreuve. Ces boissons contiennent du fructose (30g de fructose cristallisé) qui sera vite absorbé mais qui induit une réponse insulémique faible donc évite l'hypoglycémie réactionnelle par absorption trop proche de glucose avant le départ. Attention, il faut rappeler de ne pas boire glacée pendant l'effort, ni après l'effort car cela peut déclencher des troubles digestifs.

Le jour de l'épreuve, après un petit déjeuner à la française enrichi par des céréales, on peut ingérer 200 grammes de sucres lents types pains/pâtes/riz 1h à 2h avant une course de longue distance sans pour autant avoir des troubles digestifs si pas en grosse quantité (ration d'attente). Ces calories glucidiques prises sous forme de sucres complexes vont être lentement métabolisées puisque leur effet sur la glycémie sera sensible pendant les 2 premières heures de l'épreuve. Ce type d'alimentation dispense d'apporter des glucides dans les minutes précédant le départ. Cette préparation des dernières heures permet d'amener au jour J d'une compétition un athlète présentant un état métabolique de sujet nourri avec des réserves de glycogène hépatique à leur plus haut niveau, sans que ce plan alimentaire soit source d'un inconfort digestif pendant l'épreuve.

#### 6. Nutrition glucidique pendant l'effort physique

Les études sont relativement unanimes sur l'effet de la nutrition glucidique pendant l'exercice sur l'amélioration des performances sportives. (26) Un apport de 0,2 g par kg de poids corporel d'hydrates de carbone au cours d'un exercice prolongé à puissance constante, toutes les 20 minutes, permet de prolonger l'exercice 1 h de plus par rapport au sujet recevant un placebo. Dans les années 1920, il était suggéré que la prise de sucre pendant un marathon pouvait améliorer les performances.

Les glucides pris pendant un effort apportent un carburant supplémentaire, ce qui permet d'épargner les réserves de glucides de l'organisme. Ainsi pendant l'effort, les concentrations de glucose dans le sang sont maintenues grâce à l'alimentation en glucides, car elles tomberaient à des niveaux bas dans les 2 à 3 heures si aucun glucide n'était absorbé. L'apport en glucides permet également de maintenir un taux élevé d'utilisation des glucides par le muscle, ce qui contribue à maintenir la puissance. Il a donc été conseillé de prendre des glucides dans toutes les courses qui durent 2 heures ou plus.

### **Quand et quelle quantité de glucides apporter pendant l'effort ?**

Il y a un intérêt à apporter régulièrement des glucides pour des efforts de plus de 90 minutes. Cependant il faut que ces apports ne provoquent pas de troubles digestifs, et soient rapidement métabolisés. Les résultats ont majoritairement démontré que les performances étaient améliorées par des apports de 30 à 60 grammes de glucides par heure d'exercice et selon l'intensité de l'effort. Pour des efforts de très longue durée, on peut aller jusqu'à 80g/l dans une boisson.

Pour des épreuves sportives de plus d'une heure, la consommation de glucides doit commencer peu de temps après le début de l'activité. En effet, des études ont montré que la consommation d'une quantité donnée de glucides en bolus après 2 heures d'exercice n'est pas aussi efficace que la consommation de la même quantité de glucides à intervalles de 15 à 20 minutes pendant les 2 heures d'activité.

### **Quels types d'apports ?**

Durant l'effort, la consommation d'aliments à indice glycémique élevé (glucose, maltodextrine, maltose) à moyen permet de maintenir une glycémie stable. Des études menées par Hawley et al. (27) ont montré une amélioration de la puissance maximale chez des cyclistes à l'issue de 2 heures d'exercice, lorsque les sujets absorbent 2 g/kg de poids de glucides, 30 minutes avant et ensuite toutes les 30 minutes pendant l'effort. Cela a permis de conclure que la prise de glucides avant l'exercice améliore la performance uniquement lorsque l'ingestion de glucides est maintenue tout au long de l'exercice.

Ces apports sont couverts par des glucides présents dans les boissons d'effort ou par des barres solides dites « énergétiques ». Les glucides solides et liquides (barres, gels ou boissons énergétiques) ont les mêmes avantages en termes de performance. Pendant les épreuves, il est souvent plus facile d'avoir un apport liquide qu'un apport solide. En effet, pour exemple, il est difficile de courir et de manger simultanément. Par contre, les cyclistes ayant des longues épreuves, consomment des glucides solides tout en roulant.

Dans les boissons d'effort on retrouve souvent des maltodextrines car à le pouvoir diminuer la tonicité d'une boisson pour une même quantité de glucides. Mais attention, il faut signaler aux sportifs que les index glycémiques des maltodextrines varient. En effet, les maltodextrines sont issues de l'hydrolyse d'un amidon et donc les glucides sont plus ou moins polymérisés suivant

l'intensité de l'hydrolyse. Les plus hydrolysés libèrent plus de sucres simples ou de disaccharides que de polymères de glucose et auront un DE (dextrose équivalent) plus élevé. Donc il est important de connaître le DE d'une maltodextrine, avant de choisir sa boisson d'effort. Un DE supérieur à 15, est un indicateur d'une hydrolyse poussée et donc d'un IG élevé.

Pendant la compétition, on préconise une boisson isotonique à raison de 3-4 gorgées (iso) toutes les 15-20 minutes et l'apport d'un aliment solide toutes les 60 minutes (Barres énergétiques, pâtes de fruits, fruits secs, pain d'épice, banane, yaourt à boire).

La nature, le volume et la séquence d'administration des glucides pendant l'effort est aussi conditionnée par la physiologie de la vidange gastrique, la vitesse de métabolisation et surtout la tolérance digestive.

Plusieurs facteurs assurent le contrôle de la vitesse de vidange de l'estomac, et interagissent entre eux, comme le volume ingéré, la composition des boissons, leur température, et l'intensité de l'exercice. Néanmoins, la forme sous laquelle les glucides sont pris n'a pas d'importance. Si l'ingestion d'aliments solides ralentit la vidange gastrique et peut donc ralentir l'apport de liquides alors qu'il est important de bien s'hydrater. D'un autre côté, les aliments solides donneront une sensation plus satisfaisante dans l'estomac, ce qui peut être important dans les courses plus longues. Le fait de choisir des glucides sous formes de liquides ou de solides dépend des préférences de l'athlète et de ce que son corps peut tolérer afin de minimiser l'apparition de troubles digestifs pendant l'effort, qui est souvent source de préoccupation chez les athlètes.

## 7. Nutrition glucidique pendant la phase de récupération

La diminution du glycogène musculaire suite à un exercice prolongé active l'activité des voies métaboliques de la glyco-génogénèse pendant la récupération. La glyco-génogénèse est la voie métabolique qui permet la synthèse de glycogène à partir du glucose et sa mise en réserve suite à une alimentation riche en glucides. L'apport de glucides pendant la phase de récupération conduit à une accélération de la synthèse du glycogène et une augmentation des taux de glycogène qui redeviennent supérieures au début de l'exercice. Ce phénomène appelé la

surcompensation est le fait d'obtenir des taux de glycogène supérieurs à ceux de début d'exercice et permet de réaliser des efforts successifs plusieurs jours de suite.

Des recherches menées sur l'évolution des stocks de glycogène musculaire lors de plusieurs jours de course prolongée montrent que si les sujets suivent un régime comprenant 250 à 350 grammes de glucides par jour, on observe une diminution progressive des stocks de glycogène à la suite de chaque période de récupération. A l'inverse, si les athlètes reçoivent un apport plus élevé, allant de 500 à 600 grammes de glucides par jour, on observe une récupération complète entre chaque séance. (28)

De plus, dans la phase de récupération, la nature des glucides a un rôle sur la capacité de resynthèse : il est plus efficace de manger des glucides avec un index glycémique élevé.

Lorsque l'intervalle entre deux séances d'entraînement est inférieur à 8 heures, l'athlète doit commencer à consommer des glucides dès que possible après la première séance d'entraînement afin de maximiser le temps de récupération entre les séances.

Pendant les périodes de récupération plus longues (24 h), l'athlète doit organiser le moment des repas et des collations riches en glucides en fonction de ce qui est pratique et confortable pour sa situation personnelle. (29)

### **Quand apporter des glucides en récupération ?**

Le moment et la composition du repas après une compétition ou un exercice dépendent de la durée et de l'intensité de la séance d'exercice (c'est-à-dire s'il y a eu déplétion de glycogène) et du moment où aura lieu la prochaine séance d'exercice intense. Par exemple, lors d'une course de marathon, les athlètes vont terminer avec des réserves de glycogène épuisées, tandis que la déplétion en glycogène sera moins importante après une course d'entraînement de 90 minutes. Mais comme il y a peu de probabilités pour que les athlètes ayant réalisé le marathon participent à une autre course ou à une séance d'entraînement intense le même jour, le moment et la composition du repas post-exercice sont moins critiques pour ces athlètes. À l'inverse, un triathlète qui participe à une course de 90 minutes le matin et à une séance de vélo de 3 heures l'après-midi doit maximiser sa récupération entre les séances d'entraînement. Le repas post-entraînement a une importance cruciale pour atteindre cet objectif.



Le moment de la prise de glucides après l'exercice a un impact sur la synthèse du glycogène à court terme. La consommation de glucides dans les 30 minutes qui suivent l'exercice, a pour conséquence d'avoir des niveaux de glycogène plus élevés après l'exercice que lorsque la prise de glucide est réalisée 2 heures après.

Les athlètes qui ne s'entraînent pas pendant un ou plusieurs jours entre des entraînements intenses, n'ont pas besoin de synchroniser les nutriments pour la reconstitution du glycogène, à condition que suffisamment de glucides soient consommés au cours de la période de 24 heures après l'effort.

Cependant, la consommation d'un repas ou d'une collation vers la fin de l'exercice peut être importante pour que les athlètes atteignent leurs objectifs quotidiens en matière de glucides et d'énergie.

Le moment de l'administration des glucides après l'exercice a une importance dans deux cas :

- Lorsque la restauration rapide du glycogène musculaire est un objectif principal
- Lorsque des quantités inadéquates de glucides sont administrées

Plus les réserves de glycogène musculaire peuvent être reconstituées rapidement après l'exercice, plus le processus de récupération est rapide et, plus la capacité de performance est rétablie.

### **Comment et à quelle fréquence ?**

Il s'agit d'une période cruciale de 6h (environ 300g glucides en 6h). On peut se poser la question s'il vaut mieux consommer de gros repas ou des collations fréquentes pour favoriser un stockage optimal du glycogène ? Il semblerait que la fréquence des repas 24 heures post-exercice ne semble pas avoir d'impact. Mais attention, l'appétit est réduit après un exercice intense, déterminant ainsi l'apport alimentaire sur 24 heures. Les petites collations sont aussi efficaces que les gros repas pour assurer le stockage du glycogène pendant la phase de récupération de 24h.

Il faut agir rapidement après l'arrêt de l'effort avec apport de glucide sous forme liquide dans les 30 premières minutes. Les formes solides sucrées viennent après (1-2h post-effort).

- La première étape est de boire déjà une boisson énergétique (au plus tard 30 min après effort, 20 à 25 g de glucides)

- Dans un deuxième temps, passez à un solide énergétique dans l'heure qui suit l'arrêt de l'effort (40 à 50g de glucides) : boisson chaude sucrée, 200ml yaourt à boire, pain d'épice, fruits secs, barre énergétique...
- Le soir, effectuez un repas complet. Ceci pas avant 2-3h : 1 potage ou légumes, 1 viande ou quiche ou œufs ou tarte salée, riz ou de pâtes, 1 fromage blanc avec confiture ou crème de marron, 1 dessert sucrée ou biscuit.

Il a été démontré que l'indice glycémique des aliments avait un rôle sur le stockage du glycogène sur 24h de récupération dans des muscles appauvris en glycogène dans une étude sur une course cycliste longue (30). Les cyclistes ont consommé des régimes composés majoritairement de glucides, un groupe des aliments à indice glycémique élevé et l'autre des aliments à indice glycémique faible à modéré. Il a été prouvé que ceux à indice glycémique élevé induisent un stockage de glycogène plus important et des réponses glycémiques et insuliniques postprandiales plus importantes pendant 24 heures de récupération post-exercice par rapport à ceux à indice glycémique faible. Le retard de digestion et d'absorption est l'explication la plus plausible des effets des régimes à indice glycémique faible. Il est possible que l'absorption plus lente du glucose retarde la présentation du glucose au muscle.

La combinaison de glucides et de protéines est aussi une stratégie courante utilisée par les athlètes pratiquant un sport d'endurance ou de force pour améliorer la performance à l'effort, mais aussi pour favoriser la reconstitution du glycogène et minimiser les dommages musculaires (31). Ivy et al. ont recruté des cyclistes entraînés pour effectuer un exercice de trois heures à une intensité de 45-75% de la  $VO_{2max}$  avant de s'épuiser à 85% de la  $VO_{2max}$ . Les sportifs participant à l'étude ont ingéré soit une solution de glucides, soit une solution de glucides et de protéines. Il a été observé que lorsque les protéines ont été ajoutées aux glucides, l'endurance a été nettement améliorée. La combinaison glucides + protéines a entraîné une amélioration significative des performances ainsi qu'une réduction des dommages musculaires. L'apport d'une combinaison de glucides et de protéines facilite une meilleure récupération du glycogène musculaire lorsqu'il est consommé peu après la fin d'une séance d'entraînement et avant un exercice d'endurance ultérieur. (32) il a été démontré que la combinaison de glucides et de protéines était plus efficace que les glucides seuls dans la reconstitution du glycogène musculaire pendant les 4 heures suivant immédiatement l'exercice. Cependant, lorsque la quantité optimale de glucides est dépassée, l'ajout de protéines n'apparaît pas comme un avantage sur les performances des exercices d'endurance ou de résistance ainsi que sur la récupération du glycogène musculaire.

## 8. Entraînement avec des disponibilités réduites en glucides

On sait que la charge en glycogène augmente les performances en endurance. Ainsi, la plupart des athlètes et des entraîneurs pensent que l'entraînement dans un état de charge en glycogène est essentiel pour des performances optimales. Cependant, la validité de cette philosophie est aujourd'hui remise en question. Il est de plus en plus évident que l'entraînement dans un état d'épuisement du glycogène présente des avantages. Effectivement, la diminution de la disponibilité des glucides endogènes et/ou exogènes pendant un entraînement d'endurance à court terme (c'est à dire entre 3 et 10 semaines) augmente le contenu en protéines, augmente l'oxydation des lipides dans tout le corps ainsi que dans les muscles, et dans certains cas, améliore la capacité d'exercice.

Les avantages potentiels de l'entraînement en état d'épuisement du glycogène ont conduit de nombreux entraîneurs et scientifiques à adopter une nouvelle philosophie d'entraînement : « S'entraîner à bas niveau, concourir à haut niveau ». (33)

Les recherches des dernières années ont mis en évidence qu'un entraînement volontaire où les disponibilités en glucides sont réduites peuvent favoriser les adaptations induites par l'entraînement du muscle squelettique. Cela se traduit par une augmentation des activités enzymatiques mitochondriales, une augmentation des taux d'oxydation des lipides et, parfois une amélioration de la capacité d'exercice. Ces recherches ont amené au concept de « s'entraîner peu, mais concourir beaucoup », selon lequel des sessions d'entraînements sont réalisées dans des conditions de disponibilité réduite en glucides (afin de promouvoir l'adaptation à l'entraînement), mais les réserves de glucides sont restaurées immédiatement avant une compétition importante. (34)

Ainsi, l'entraînement avec une faible disponibilité en glucides, doit être bien structuré et mis dans une période adéquate pour l'athlète. Par exemple, il peut être intégré lorsque la séance d'entraînement prévu à venir est de faible intensité c'est à dire avec des charges d'entraînements pas trop élevées.

De plus, comme cette méthode d'entraînement peut entraîner une dégradation des protéines musculaires, il est recommandé que lors d'un faible apport en glucides en vue des entraînements, une ingestion de protéines devrait être faite avant, pendant et/ou immédiatement après l'exercice.

Néanmoins, cette méthode d'entraînement reste très discutée de par le manque de recherches approfondies. En effet, nous pouvons citer comme exemple la réduction de la disponibilité des glucides qui a un impact négatif sur l'intensité de l'entraînement aigu et donc, s'il est pratiqué à long terme, peut entraîner un effet de désentraînement.

Ces données ont donc conduit à un mode d'entraînement qui consiste à ce que les athlètes effectuent volontairement une partie de leurs entraînements avec une disponibilité réduite en glucides dans le but d'augmenter l'adaptation à l'entraînement, mais en ayant toujours une disponibilité élevée de glucides avant et pendant la compétition pour permettre une performance maximale. Ce type d'entraînement et d'alimentation ne peut être utilisée que sur du court terme car l'entraînement à long terme avec une faible disponibilité en glucides peut amener à des dysfonctionnements du système immunitaire, une diminution de l'intensité de l'entraînement ainsi qu'une capacité réduite à oxyder les glucides exogènes.

De plus, lorsque l'objectif de la séance d'entraînement est d'atteindre la charge de travail la plus élevée possible, il convient de fournir des glucides adaptés 24 heures avant et 24 heures après la séance d'entraînement en question. (35)

Lorsque le taux de glycogène est faible, le métabolisme du corps entier change et fonctionne alors différemment. Chez l'homme, l'épuisement du glycogène entraîne une libération d'acides aminés provenant de la dégradation des protéines musculaires, une augmentation du métabolisme des graisses, et une augmentation des niveaux d'hormones de stress. De part ces changements, il apparait évident que la performance soit impactée de façon négative par un faible taux de glycogène musculaire. Par ailleurs, des chercheurs ont émis l'hypothèse qu'un faible taux de glycogène pendant l'entraînement modifie le métabolisme des substrats de l'organisme entier.

En faveur des effets bénéfiques de l'entraînement dans un état de déplétion en glycogène, Hansen et ses collaborateurs ont montré que 10 semaines d'entraînement dans un état de déplétion en glycogène entraînaient une augmentation de 85 % du temps jusqu'à l'épuisement par rapport à un entraînement avec un taux de glycogène élevé. La raison de cette plus grande augmentation de l'endurance était une augmentation plus importante de la citrate synthase et d'autres enzymes du métabolisme des graisses. Ces résultats ont été confirmés chez des cyclistes entraînés, ce qui évoque le concept que, quel que soit l'état d'entraînement de l'athlète, l'entraînement dans un état d'épuisement du glycogène entraîne une capacité accrue à utiliser les graisses comme carburant pendant l'exercice.

Étant donné que l'entraînement dans un état d'épuisement du glycogène améliore la capacité d'oxydation des graisses, on pourrait s'attendre à ce que ce type d'entraînement ait un effet d'économie de glycogène pendant la compétition, ce qui entraînerait une amélioration des performances.

Bien que cela puisse être vrai pour les exercices à faible intensité (<70% de la  $VO_2$ max), cela ne semble pas avoir d'effet positif sur les performances à des intensités plus élevées (>70% de la  $VO_2$ max) où les glucides sont la principale source de carburant. Cela veut dire que dans les compétitions d'endurance de longue durée comme le triathlon, le marathon, ou encore le cyclisme sur route, l'entraînement dans un état d'épuisement du glycogène aura un effet positif sur les performances. L'entraînement dans un état d'épuisement du glycogène musculaire augmente la capacité d'un athlète à oxyder les graisses. Dans les compétitions d'endurance de longue durée, cette augmentation de l'oxydation des graisses peut épargner le glycogène musculaire et améliorer les performances.

Pour ce qui est des sports de force, l'entraînement en résistance dans un état de manque de glycogène ne semble pas avoir d'effets bénéfiques. Au contraire, l'entraînement en résistance dans un état d'épuisement du glycogène peut diminuer les adaptations à l'entraînement.

Dans les épreuves de force et d'endurance de moins d'une heure, où les glucides sont les principales sources de carburant, l'entraînement dans un état d'épuisement du glycogène musculaire ne présente aucun avantage en termes de performance.

Cependant cette application a des limites. En effet, le fait de s'entraîner de façon répétée avec une disponibilité réduite en glucides peut amener à une incapacité à maintenir l'intensité d'entraînement souhaitée. Faire de l'exercice avec une faible disponibilité en glucides augmente la dégradation des protéines musculaires et, s'il est pratiqué de manière répétée avec un apport réduit en glucides (par exemple, un régime pauvre en glucides), il peut entraîner une perte de masse musculaire.

## C. Lipides chez le sportif

### 1. Généralités

Dans la population générale, la recommandation est de 30-35% de lipides sur le total de l'apport journalier avec une répartition des lipides de la manière suivante :

- 25 % d'acides gras saturés
- 60 % d'acides gras mono-insaturés
- 15 % d'acides gras polyinsaturés.

Les acides gras polyinsaturés, représentés par les omégas 3 et 6, constituent une classe particulière de lipides qui apparaît intéressante dans le domaine du sport et de la santé. Plusieurs études ont montré que des suppléments en acides gras polyinsaturés, combinés ou pas avec un programme d'entraînement physique en endurance, améliorent le profil lipidique, diminuent le risque cardiovasculaire, diminuent l'inflammation, et favorisent la perte de poids. Ceci peut avoir un intérêt dans les sports de poids.

Par contre, il ne semble pas utile afin d'améliorer les performances, d'augmenter cette ration de lipides chez les sportifs et ceux malgré l'augmentation des dépenses chez le sportif.

Les apports lipidiques des sportifs se situent en dessous des recommandations de ceux de la population générale. Chez le sportif, les lipides doivent couvrir 25 à 30 % de l'AET, afin de favoriser l'augmentation des apports en glucides. Dans le cas de sportifs d'endurance, chez les personnes pratiquant un sport d'endurance à un haut niveau, ce pourcentage peut diminuer jusqu'à 15%. En effet, le CIO (Comité Internationale Olympique) ne recommande pas de consommer moins de 15 à 20 % des calories totales provenant des graisses, car celles-ci sont essentielles à de nombreux processus de l'organisme, notamment la structure des membranes cellulaires, l'absorption des vitamines liposolubles, la régulation hormonale, la santé du cerveau et l'énergie nécessaire au métabolisme musculaire. De plus, des apports très faibles en lipides semblent favoriser l'utilisation des glucides, conduisant à un épuisement précoce des réserves en glycogène.

Par exemple, on peut préconiser aux sportifs de :

- Consommer du poisson gras
- Utiliser une cuillère à café d'huile de tournesol pour la cuisson
- Utiliser une cuillère à soupe d'huile végétale type lin/olive/noisette/noix pour l'assaisonnement
- Penser à manger des oléagineux type amandes, noix de cajou lors des collations

L'apport d'acides gras comme dans le cadre du régime méditerranéen d'inspiration crétoise, diminue la formation de cytokines pro-inflammatoires et favorise celle de cytokines anti-inflammatoires. Ainsi, certains professionnels ne considèrent pas comme favorable la

restriction des lipides pour les sportifs. Selon eux, les lipides peuvent aider à réduire le stress lié à l'exercice et n'ont aucun effet défavorable sur la santé de l'athlète. Cependant, paradoxalement, la restriction des apports lipidiques serait, au vu des recommandations s'adressant aux sportifs, encore perçue comme une situation a priori favorable. (36)

## 2. Régimes hyperlipidiques et performances

On a parlé des régimes hyperglucidiques en vue d'une compétition et de l'amélioration des performances sportives en utilisant ce type de régime. La plupart des résultats ne montrent pas d'amélioration des performances en utilisant ce type de régime avant la compétition.

L'étude menée par Helge et ses collaborateurs (37) a voulu savoir si l'association d'un programme d'entraînement d'endurance chez des personnes non entraînés avec un régime riche en graisses affectait le métabolisme de l'exercice et les performances d'endurance d'une manière différente que si un régime riche en glucides était consommé pendant un programme d'entraînement identique. Puis, ils ont voulu étudier le métabolisme de l'exercice et les performances en endurance lorsque, après un entraînement avec un régime riche en graisses, le régime riche en glucides était consommé pendant une semaine supplémentaire d'entraînement. Pour ce faire, les sujets ont ensuite été répartis de manière aléatoire en deux groupes. Les deux groupes ont suivi un programme d'entraînement pendant 8 semaines et ont consommé soit un régime riche en glucides, soit un régime riche en graisses pendant les 7 premières semaines. Lors de la 8ème semaine, le groupe de personnes ayant suivi le régime riche en glucides sont restés dans ce régime, alors que le groupe de personnes qui a suivi le régime riche en graisses sont passés au régime riche en glucides.

Pour évaluer une potentielle influence des différents régimes, Helge et ses collaborateurs, ont fait réaliser aux personnes participant à l'étude un test d'endurance jusqu'à épuisement sur un vélo ergométrique après 7 et 8 semaines. Ainsi les conclusions de l'étude sont, qu'après un entraînement aérobie de 7 semaines, cela a permis d'augmenter les performances d'endurance de façon beaucoup plus importante (56 %) lorsqu'un régime riche en glucides était consommé par rapport à un régime riche en graisses. De plus, lorsque le régime riche en graisses a été remplacé par un régime riche en glucides pendant une semaine supplémentaire d'entraînement, les performances d'endurance ont légèrement augmenté, mais sont restées significativement inférieures à celles des sujets qui ont suivi le régime riche en glucides pendant toute la période

d'entraînement (8 semaines). Les résultats indiquent clairement que l'amélioration de la capacité d'endurance pendant un entraînement de 7 semaines est nettement meilleure lorsque l'entraînement est effectué dans le cadre d'un régime riche en glucides par rapport à un régime riche en graisses.

Pour les entraînements ou les compétitions qui durent plus d'une heure, l'accent est mis sur les méthodes qui augmentent la disponibilité des glucides pour les muscles et le cerveau, car une faible disponibilité des glucides est associée à la fatigue.

Les réserves de graisse corporelle constituent un substrat énergétique important, même chez les athlètes les plus maigres. Même s'il est reconnu que les sports d'endurance améliorent la capacité d'oxydation des graisses d'un athlète pendant l'exercice, un nombre non négligeable de recherches ont été menées pour trouver des moyens permettant de réguler davantage cette capacité d'oxydation des graisses afin d'améliorer la capacité d'exercice et les performances sportives en réduisant la dépendance vis-à-vis des réserves limitées de glycogène des muscles et/ou la nécessité de consommer des glucides pendant l'épreuve.

Les méthodes visant à augmenter la disponibilité des graisses libres en augmentant la consommation de graisses dans les heures ou les jours précédant l'exercice, ou en consommant des graisses pendant l'exercice, se sont avérées infructueuses. Ainsi, les recherches se sont plus focalisées sur des méthodes qui pourraient rééquiper le muscle pour mieux utiliser les graisses comme carburant pour l'exercice.

A l'inverse d'un régime à court terme comprenant peu de glucides et beaucoup de lipides qui réduit la capacité d'exercice en épuisant les réserves de glycogène du foie et des muscles sans produire une augmentation compensatoire de l'oxydation des graisses, la prise à plus long terme de ce régime alimentaire entraîne une série d'adaptations qui semble améliorer la dégradation, le transport et l'oxydation des graisses dans les muscles.

Havemann et ses collaborateurs (38) ont mené une étude où ils ont demandé à des cyclistes de suivre soit :

- Un régime avec peu de glucides et beaucoup de lipides pendant 6 jours, suivi d'un régime riche en glucides d'un jour,
- Ou alors un régime riche en glucides de 7 jours, avant de réaliser une course cycliste qui sera analysée en laboratoire.



De manière générale, les différences dans les temps de performance pour le contre-la-montre ne se sont pas avérées statistiquement significatives, bien que la performance moyenne sur les cyclistes ayant eu un régime riche en glucides pendant 7 jours ait été 2,5 % plus rapide par rapport à l'autre groupe. De plus, la performance des sprints sur 1 km a été incontestablement réduite dans le groupe ayant reçu un régime avec peu de glucides et beaucoup de lipides. Les chercheurs ont en déduit que malgré une adaptation au régime à base de peu de glucides et beaucoup de lipides suivis d'une restauration des glucides, a permis d'augmenter l'oxydation des graisses pendant l'exercice, elle réduit néanmoins la puissance du sprint de haute intensité. Ainsi les athlètes ayant suivi ce type de régime durant 7 jours se sont vus observer une réduction de la capacité d'entraînement et une augmentation de l'effort perçu. Les stratégies d'adaptation aux graisses peuvent en fait nuire à la performance de l'exercice. Ceci peut s'expliquer par l'altération de l'utilisation du glycogène musculaire nécessaire pour soutenir des taux de travail élevés. Au vu des résultats des recherches, Havemann et ses collaborateurs ont décidé d'abandonner leurs intérêts pour la recherche et la pratique des stratégies d'adaptation aux graisses car ils en ont déduit que les sports de compétition assurent la possibilité de disposer d'une quantité suffisante de glucides, que les stratégies d'adaptation aux graisses réduisent la disponibilité des glucides et la capacité à les utiliser efficacement comme substrat d'exercice, et que les athlètes seraient mal avisés de sacrifier leur capacité à réaliser des efforts de haute intensité pendant une compétition. (39)

Ainsi, il a été démontré que la consommation d'un régime riche en graisses et pauvre en glucides pendant 1 à 3 jours, tout en continuant à faire de l'exercice, a pour effet de réduire les réserves de glycogène musculaire et hépatique au repos, ce qui induit une diminution de la capacité d'exercice et de l'endurance. Cette dégradation des performances est sans doute due à l'épuisement des réserves de glycogène musculaire qui sont alors réduites et de l'absence d'augmentation de la capacité d'utilisation des graisses pendant l'exercice pour compenser la réduction du carburant glucidique disponible.

Le rôle des stratégies spécifiques visant à récupérer les réserves de graisse musculaire utilisées pendant l'exercice n'est pas clair à l'heure actuelle.

## D. Protéines chez le sportif

### 1. Généralités

Dans l'ensemble, les besoins quotidiens en protéines correspondent à la quantité de protéines nécessaire pour soutenir la synthèse protéique nette (croissance, réparation des tissus endommagés, hypertrophie musculaire), ainsi que l'oxydation des acides aminés. Les athlètes consomment des protéines alimentaires pour réparer et reconstruire les muscles après des entraînements intenses ou des compétitions sportives. L'apport de protéines est important pour permettre un gain de masse et de force musculaire, car les propriétés digestives et le profil des acides aminés essentiels modulent les réponses de synthèse des protéines du muscle squelettique à l'exercice. La synthèse des protéines sert au développement de la masse musculaire mais aussi à son maintien.

Le métabolisme des protéines est impacté par l'exercice physique. Les variations dans le métabolisme des protéines est différent selon que ce soit un sport de type d'endurance ou un sport de type force-puissance. Cependant que l'on soit dans des efforts courts et intenses ou des efforts de longue durée, le métabolisme des protéines sera quasiment similaire d'un point de vue qualitatif, à savoir une baisse de synthèse protéique et une augmentation des dégradations de protéines pendant l'exercice. C'est la réponse quantitative qui sera différente.

Le maintien de la masse musculaire est un équilibre entre la synthèse des protéines musculaires et la dégradation des protéines musculaires. La consommation de protéines est donc nécessaire pour que la synthèse de protéines musculaires soit stimulée afin d'obtenir un gain de masse musculaire. Ceci est tout particulièrement vrai pour les sports de force. L'apport de protéines directement après un entraînement, favorise un plus grand gain de masse musculaire pour les entraînements en résistance, mais pas pour l'entraînement aérobic. Souvent, l'amélioration des performances passe par un gain de masse musculaire et par une perte de masse grasse, car un rapport élevé entre masse maigre et masse grasse est préférable dans certains sports.

Ainsi, les protéines peuvent agir comme substrat pour la synthèse de nouvelles protéines musculaires, menant à une accréation musculaire nette ou à la réparation de dommages protéiques, et à des stratégies pour aider à la perte de masse grasse tout en maintenant la masse maigre. (40)

## 2. Moment adéquat pour la prise de protéines

A ce jour, aucune preuve solide ne permet de conseiller l'apport de protéines pendant l'exercice, et ceci malgré la présence sur le marché de certaines boissons glucido-protéiques censée limiter l'état catabolique lors d'exercice d'endurance prolongé.

Un apport en protéines immédiatement après l'exercice est le plus bénéfique. Le moment de la consommation de protéines après l'exercice, peut être en effet, un facteur important pour la masse musculaire et le gain de force. Bien que des études évoquent que le muscle est sensible à l'apport de nutriments jusqu'à 3 heures après un exercice de résistance, des études longitudinales sur l'entraînement évoquent que les augmentations de force et de masse musculaire sont plus importantes lorsque les protéines sont consommées immédiatement après l'exercice. (40)

Bien qu'il y ait un débat sur la nature " critique " du moment de la consommation de protéines après l'exercice, un message simple pourrait être : plus tôt un athlète consomme des protéines après l'exercice, mieux c'est.

Ainsi Levenhagen et ses collaborateurs (41) ont mené des recherches où des sujets ont été étudiés à deux reprises avec le même supplément oral (10 grammes de protéines, 8 grammes de glucides, 3 grammes de graisses) qui était pris soit immédiatement, soit 3 h après 60 minutes d'exercice d'intensité modérée. Les résultats de ces recherches ont montré que la synthèse des protéines du corps entier a été multipliée par trois pour la prise alimentaire déduite après la réalisation de l'exercice physique par rapport à la prise tardive, ce qui a entraîné un gain net de protéines du corps.

Pennings et ses collègues (42) ont démontré qu'il y avait une augmentation de l'incorporation des protéines alimentaires dans le squelette et le muscle lorsque les protéines sont prises peu de temps après l'exercice. Ainsi, l'exercice avant la prise de protéines, permet une plus grande utilisation des acides aminés dérivés des protéines alimentaires pour la synthèse de protéines musculaires.

La réparation voulue après de nombreux exercices dépend de la fabrication de nouvelles protéines. Le stimulus de l'exercice détermine quelles protéines sont fabriquées. Par exemple, l'exercice de résistance stimule la synthèse de nouvelles protéines structurelles pour rendre le muscle plus gros et plus fort. Tandis que l'exercice d'endurance favorise la synthèse de protéines

qui aident le muscle à être plus performant lors d'un tel exercice, par exemple des enzymes qui favorisent l'utilisation des graisses comme carburant pour l'exercice.

Une meilleure réparation et adaptation à une séance d'entraînement peut avoir lieu si l'athlète consomme une source de protéines de haute qualité durant cette période de récupération.

### 3. Sports d'endurance et besoin en protéines

Chez le sportif d'endurance, les pertes protéiques sont importantes du fait de l'effort prolongé. Les besoins protéiques augmentés, peuvent être liés d'une part à la présence de microlésions musculaires via les chocs lors de foulée, la dégradation musculaire et d'autre part l'utilisation des acides aminés à des fins énergétiques en cas de stocks en glycogène faibles et d'apport en glucides insuffisant. Après ce type d'effort, il va falloir récupérer avec des apports appropriés en protéines. Pour un état stable, il faut que la dégradation protéique soit égale à la synthèse protéique.

Les besoins des sportifs en protéines sont augmentés avec un apport quotidien recommandé en protéines de 1,5-1,7 g/kg de poids corporel contre 0,83 g/kg/j chez l'adulte non sportif. Les apports en protéines varient selon le niveau d'entraînement (amateur/professionnel) et le niveau d'activité physique. En effet, les besoins en protéines pour les sportifs de loisirs diffèrent peu de la population générale à partir du moment où les apports en glucides sont suffisants. Les besoins en protéines des femmes sportives semblent inférieurs à ceux des hommes. L'augmentation des apports en protéines au-delà des apports recommandés n'améliore pas les performances d'endurance.

Bien que la plupart des athlètes d'endurance consomment suffisamment de protéines pour couvrir leurs besoins, ceux dont les apports en énergie ou en glucides, sont faibles peuvent avoir besoin de conseils nutritionnels adaptés en protéines alimentaires. En générale, la fourniture énergétique à partir de l'oxydation des acides aminés reste relativement faible (de 3 à 10%). Suivre des régimes qui contiennent un faible apport en glucides peut avoir des conséquences pour les athlètes via une majoration de l'utilisation métabolique des acides aminés et aggravation du processus de protéolyse. La consommation de glucides pendant l'exercice est un moyen efficace pour diminuer les augmentations d'oxydation des acides aminés causées par l'exercice.

Pour mesurer le niveau d'apport en protéines, la qualité et l'équilibre de l'apport alimentaire dans son ensemble sont importants à prendre en compte, et tout particulièrement la part prise par les glucides car il existe en effet une relation étroite entre ration glucidique et niveau de synthèse protéique, essentiellement par le biais de l'insuline.

Pour évaluer les besoins en protéines, il est important aussi de prendre en compte le type d'entraînement, l'intensité, la durée de l'entraînement. Les indications à fournir diffèrent donc selon les athlètes d'endurance qui pratiquent dans trois catégories distinctes, à savoir les athlètes de loisirs (intensité faible à modérée), les athlètes à entraînement modéré et les athlètes d'endurance de haut niveau. L'exercice d'endurance d'intensité faible à modérée ne nécessite pas des besoins en protéines alimentaires supérieurs aux recommandations actuelles pour la population générale. Les athlètes d'endurance d'intensité modérée n'ont besoin que d'une augmentation faible (1,1g/kg/j) de protéines alimentaires par rapport à ce qui est recommandé pour la population générale, et le besoin maximal en protéines que ne peut atteindre qu'une minorité de tous les athlètes d'endurance (sport de haut niveau ou élite) ne devrait pas dépasser 1,6 g/kg/j. Au début d'un programme d'exercice d'endurance ou pendant une augmentation des exigences d'entraînement, il y a une augmentation transitoire des besoins en protéines alimentaires cependant, le corps s'adapte rapidement à l'augmentation des besoins par une augmentation de l'efficacité. (43)

### **Quand et quelle quantité de protéines apporter chez le sportif d'endurance ?**

Chez le sportif adepte de disciplines d'endurance, il convient d'apporter des protéines :

- En récupération précoce des séances d'entraînement ou des compétitions (dans les 30-45 min)
- Riches en acides aminés essentiels, et comportant une part de leucine importante (protéines de la fraction soluble du lait, protéines de l'œuf, soja)
- En quantité de 20 à 25 g pour un poids corporel moyen de 70-80 kg.

#### 4. Sport de force et besoin en protéines

Lors de la pratique de sport de force, on observe rapidement une prise de masse musculaire. Cette hypertrophie du muscle est associée à une accélération du taux de renouvellement de protéines.

Les pratiquants de sport de force consomment beaucoup de protéines, ils ont constaté que l'apport en grandes quantités de protéines et d'acides aminés contribue au développement de leur masse musculaire. En effet, des apports en protéines alimentaires sont nécessaires pour assurer le remodelage musculaire induit par l'entraînement, et le développement de la masse maigre.

Le développement de la masse musculaire est la résultante de l'équilibre entre protéosynthèse et protéolyse. L'entraînement dans les sports de force transforme cet équilibre vers l'anabolisme. La pratique d'un exercice de musculation intense va induire une augmentation des synthèses protéiques qui persiste jusqu'à 48 h.

L'apport de protéines aux athlètes dans la période post-exercice, stimule la synthèse de protéine musculaire et en particulier après un exercice de résistance. Au repos, en dehors des temps de repas, le bilan protéique (équilibre entre synthèses et dégradations des protéines musculaires) est toujours négatif. L'exercice de musculation permet de diminuer ce bilan négatif mais ne parvient pas à le rendre positif, malgré l'augmentation des synthèses en post-exercice. C'est l'apport des acides aminés par voie orale qui le rend positif.

L'apport de protéines post-exercice de musculation induit un développement musculaire via :

- Une hyperinsulinémie qui va activer la synthèse protéique mais réduire également la protéolyse. Le bilan azoté est majoré par la consommation de glucides pendant la phase de récupération d'un exercice de force. Donc les glucides ont un effet anabolisant sur l'exercice de force.
- La présence des acides aminés présents dans le compartiment intracellulaire, vont être responsables de l'augmentation des synthèses protéiques. Mais cela atteint un plateau, et les protéines consommées en excès seront éliminées, ce qui entraînera une augmentation de la concentration en urée.

Le bilan protéique net (synthèse moins dégradation) est positif lorsque l'alimentation et l'exercice de résistance sont superposés (11). Ainsi, un besoin supplémentaire en protéines chez les athlètes réalisant un entraînement de force peut provenir d'un besoin plus important de protéines pour assurer les gains de synthèse de protéines.

Parallèlement, un apport en glucides ou un apport mixte (glucides et protéines, 1,06 g/kg et 0,41 g/kg) est favorable à l'anabolisme musculaire en induisant une élévation de l'insuline mais ceci uniquement dans le cas d'exercice de musculation réalisé.

## Quand et quelle quantité de protéines apporter chez le sportif de force ?

Les réponses musculaires sont optimisées grâce à la consommation :

- De protéines riches en acides aminés essentiels
- Contenant un pourcentage important de leucine
- En quantités raisonnables
- Très tôt dès l'arrêt de l'exercice, dans les 30-45 minutes
- Apport de 1,3-1,5 g/kg/j lorsque l'objectif à l'entraînement est le maintien de la masse musculaire, de manière ponctuelle, et sur une période limitée, apport de 1,8-2,5g/kg/j lorsque l'objectif à l'entraînement est le développement de la masse musculaire

### 5. Les protéines à consommer

Comme expliqué auparavant, il y a un bénéfice non négligeable d'intégrer des protéines dans les repas et les collations qui suivent les séances d'entraînement. Il apparaît que lorsque des sources de protéines de haute qualité sont prises, en particulier les aliments d'origine animale comme les produits laitiers, la viande et les œufs, seules de petites quantités sont nécessaires pour obtenir de bons effets. Dès 10 grammes de protéines, on obtient une stimulation bénéfique de la synthèse des protéines, tandis que l'effet est maximal avec une portion de 20-25 grammes de protéines.

En ce qui concerne, l'aspect qualitatif d'apport de protéines, l'alimentation doit permettre d'apporter les acides aminés essentiels. La présence de leucine dans les protéines d'origine alimentaire est intéressante afin de maximiser les synthèses en protéines musculaires.

Les scientifiques ont essayé de déterminer quels sont les acides aminés essentiels qui sont responsables majoritairement de l'équilibre protéique. Les trois acides aminés à chaîne ramifiée la leucine, l'isoleucine et la valine (BCAA), se distinguent des autres acides aminés essentiels de par leur rôle dans le métabolisme des protéines, la régulation de la glycémie et de l'insuline. De plus, les enzymes responsables de la dégradation des acides aminés à chaîne ramifiée fonctionnent de manière à limiter le taux de dégradation.

Ainsi, les BCAA administrés par voie orale apparaissent rapidement dans la circulation sanguine et exposent les muscles à des concentrations élevées (32). C'est pourquoi, les sources de protéines contenant des niveaux élevés d'acides aminés essentiels sont considérées comme des sources de protéines de meilleure qualité.

On retrouve de nombreuses sources de protéines. Parmi ce grand nombre, certaines sont plus utilisées chez le sportif de par leurs avantages et leurs propriétés.

- **Le lait** : Il a été prouvé que le fait de consommer du lait après le sport accélère la récupération après un exercice, augmente la reconstitution des réserves de glycogène, améliore l'état d'hydratation et, améliore l'équilibre protéique pour favoriser la synthèse. Tout ceci se traduit par des gains de force musculaire et une augmentation du volume des muscles. Le lait peut être divisé en deux catégories de protéines : la caséine et le lactosérum. La comparaison de la qualité du lactosérum et de la caséine révèle que ces deux protéines contiennent couramment la plus haute teneur en leucine de toutes les autres sources de protéines. Bien qu'elles soient toutes deux de haute qualité, elles se différencient par leur vitesse de digestion et leur impact sur le métabolisme des protéines. La protéine de lactosérum est soluble dans l'eau, se mélange facilement et est rapidement digérée. Tandis que, la caséine est insoluble dans l'eau, coagule dans l'intestin et est digérée plus lentement que les protéines de lactosérum. La caséine possède également des propriétés intrinsèques, comme les peptides opioïdes, qui ralentissent efficacement la motilité gastrique (32). Plus récemment, Tang et ses collègues (44) ont étudié les effets de l'administration de 22 grammes d'isolat de lactosérum et de caséine au repos et après un seul entraînement de résistance chez de jeunes hommes. Les calculs de l'aire sous la courbe ont démontré une augmentation de 200% plus importante des concentrations de leucine dans le sang après l'ingestion de whey par rapport à la caséine. En outre, l'ingestion de protéines de lactosérum stimulait une plus grande synthèse de protéines musculaires au repos et après l'exercice, par rapport à la caséine. D'autres recherches ont également démontré que 10 semaines de supplémentation en protéines de lactosérum chez des bodybuilders entraînés ont induit des gains plus importants de masse maigre et de force par rapport à la caséine. Ces résultats suggèrent que les protéines de lactosérum à digestion plus rapide peuvent être plus bénéfiques pour les adaptations des muscles squelettique.
- **Les œufs** : Les protéines de l'œuf sont la plupart du temps estimées comme une protéine idéale car leur composition en acides aminés a été utilisée comme référence pour comparer les autres protéines alimentaires. De par leur teneur en acides aminés et leur très bonne digestibilité, les œufs sont une source de protéines parfaites pour les athlètes. Il y a quelques temps, les œufs ont été diabolisés de par leur teneur en cholestérol, mais un grand nombre d'études ont pu prouver qu'il n'y avait pas de relation entre la consommation d'œufs et les maladies coronariennes. Les protéines de l'œuf peuvent avoir un rôle important pour les



athlètes, car il a été démontré que cette source de protéines augmentait de manière considérable la synthèse protéique des muscles squelettiques et des protéines plasmatiques après un exercice de résistance, à des doses de 20 et 40 grammes. En plus d'être une source avantageuse et de haute qualité de protéines riches en leucine (0,5 grammes de leucine par portion), les œufs ont également été définis comme des aliments fonctionnels. Les aliments fonctionnels correspondent à des aliments qui apportent un bénéfice pour la santé de par la présence de leurs composants, au-delà de la nutrition de base, comme le fait de fournir des nutriments ou d'autres substances qui amènent de l'énergie, permettent la croissance ou maintiennent/réparent les processus vitaux (45). Selon l'Academy of Nutrition and Dietetics, les aliments fonctionnels doivent être consommés régulièrement dans le cadre d'une alimentation équilibrée et variée. Cependant, le terme " aliment fonctionnel " ne doit pas être utilisé pour insinuer qu'il existe de bons et de mauvais aliments, mais plutôt que tous les aliments peuvent être intégrés dans un régime alimentaire sain et varié.

- **La viande** : Les protéines de viande sont un élément important du régime alimentaire et, selon le type de viande, elles contiennent des quantités différentes de graisse et de cholestérol. Les protéines de la viande sont reconnues pour être des sources riches en acides aminés essentiels. Les viandes, de manière générale, sont une source non négligeable de micronutriments comme le fer, les vitamines A, B12 et l'acide folique. En général, ces micronutriments ne peuvent pas être trouvés de manière aussi importante dans les protéines végétales. Des recherches ont mis en avant qu'il y avait des écarts importants dans la composition corporelle et la masse musculaire entre des hommes âgés qui suivent un entraînement à base de résistance tout en suivant un régime à base de viande ou un régime lacto-végétarien (46). Les résultats ont montré qu'à la suite de 12 semaines, la densité du corps entier, la masse sans graisse et la masse musculaire du corps ont augmenté dans le groupe qui avait un régime à base de viande, mais ont diminué dans le groupe suivant un régime lacto-végétarien. De plus, le pourcentage moyen de graisse corporelle a diminué dans le groupe suivant un régime alimentaire contenant de la viande et augmenté dans le groupe lacto-végétarien. Les hommes âgés qui ont consommé un régime lacto-végétarien pendant une période de 12 semaines d'entraînement de résistance, n'ont pas connu d'augmentation de leur force musculaire comparé au groupe d'hommes d'âge semblable qui ont consommé un régime omnivore. Ces résultats soumettent l'idée que le régime alimentaire peut influencer les changements de composition corporelle et de taille musculaire induits par l'entraînement de résistance et, que la consommation de viande peut influencer l'augmentation de la force musculaire et de la masse musculaire. (32)

## **Optimiser les apports en post-effort**

Les protéines consommées sous forme liquide en même temps que les glucides représentent un ensemble de nutriments le plus adéquat pour atteindre ses objectifs. Le lait de vache permet de concentrer l'ensemble de ces nutriments et, lorsqu'il est consommé comme boisson de récupération juste après l'exercice, il a été prouvé qu'il augmentait le gain de masse maigre donc de muscle. Pour ce qui est de l'hydratation, il a été démontré que le lait est équivalent à l'eau et aux boissons sportives en termes de restauration de l'équilibre hydrique. Un certain nombre d'études ont démontré que, lorsque le lait est consommé après l'exercice, les versions aromatisées du lait (comme par exemple le chocolat au lait), qui contient le plus souvent des glucides ajoutés sous forme de sucre simple, peuvent améliorer les performances ultérieures de l'exercice et réduire les dommages musculaires. Ainsi, il apparaît que le lait serait un avantage pour améliorer la récupération et améliorer les performances (40).

### 6. Supplémentation en protéines

Un apport quotidien en protéines supérieur à 2,0g/kg/j, incluant les apports en protéines provenant à la fois de l'alimentation et des suppléments, entraîne une augmentation de 22% et 42% de la force sur des exercices de squat et de développé-couché pendant la phase de préparation physique hors saison des joueurs de football universitaire, par rapport aux athlètes qui ne consommaient que les niveaux recommandés c'est à dire 1,6-1,8 g/kg/j pour les athlètes de force/puissance (47). Pour ce faire, les athlètes ont été assignés au hasard à un groupe de supplément protéique ou à un groupe placebo. Au cours de chaque session de test, les sujets ont été évalués sur leur capacité à réaliser une répétition la plus lourde possible en développé-couché et en squat. Il a été montré que le groupe ayant reçu une supplémentation protéique a pu réaliser une charge de sa répétition la plus lourde possible de presque 2kg de plus que le groupe ayant reçu un placebo.

Bien que certaines études aient démontré que la supplémentation en protéines chez des adultes non entraînés effectuant des exercices de résistance n'apporte aucun bénéfice en ce qui concerne l'augmentation du tissu maigre ou de la force, les preuves soutiennent un besoin en protéines plus important pour les athlètes de force et de puissance par rapport aux athlètes d'endurance et à la population sédentaire.

De plus, une diminution des dommages musculaires, une atténuation des diminutions de force et une meilleure récupération après un exercice de résistance ont été démontrées chez les sujets

utilisant des suppléments de protéines. Les résultats de cette étude indiquent que la supplémentation en protéines chez les athlètes de force/puissance peut augmenter le développement de la force par rapport à un placebo. Cependant bien que cela ait une utilité pour les sportifs entraînés, la supplémentation protéique pour des personnes non entraînés n'a aucun intérêt.

Les protéines de lactosérum (whey protéiné) et la créatine monohydrate sont deux compléments alimentaires utilisés majoritairement pour améliorer la force musculaire et l'hypertrophie pendant l'exercice de résistance.

Les suppléments de whey protéiné contiennent généralement une concentration plus élevée d'acides aminés essentiels que les autres sources de protéines, et ont une cinétique d'absorption rapide. La supplémentation entraîne un pic élevé d'acides aminés dans le sang et une stimulation de la synthèse protéique. (48) Les protéines de lactosérum et de caséine ont des vitesses de digestion et des cinétiques d'absorption différentes, expliquant la différence d'impact sur la synthèse des protéines musculaires. Des recherches menées par Cribb et ses collaborateurs ont comparé les effets d'une supplémentation en protéines de lactosérum ou de caséine sur la composition corporelle et la force musculaire en réponse à un programme d'entraînement de 10 semaines (49). Les individus prenant des protéines de lactosérum ont augmenté leur masse maigre et diminué leur masse grasse plus que ceux qui consommaient de la caséine, pendant l'entraînement. De plus, les gains en force musculaire étaient significativement plus importants pour ceux qui recevaient de la whey (protéines de lactosérum).

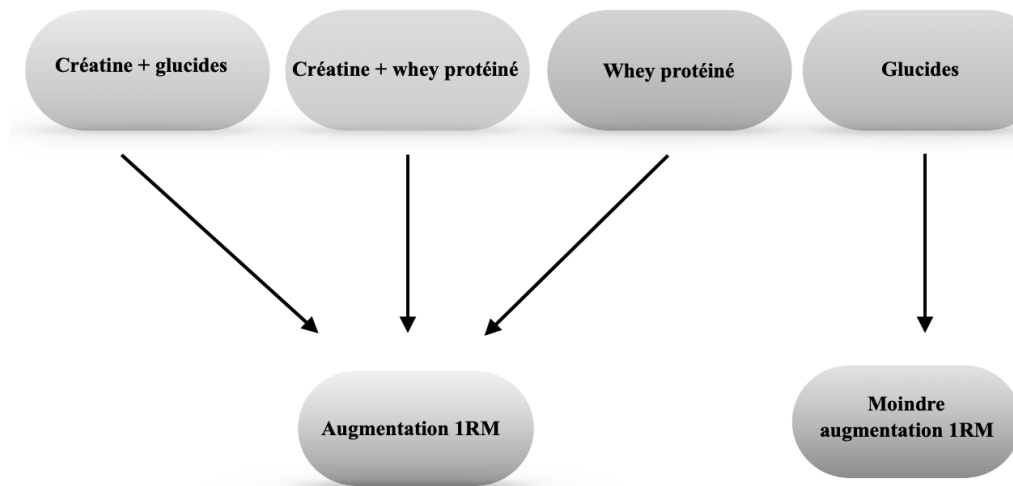
L'utilisation chronique de créatine pour augmenter la force musculaire et la masse maigre est une méthode largement utilisée dans différentes populations adultes qui font de l'exercice. L'utilisation de suppléments de créatine augmente la capacité des muscles à stocker le glycogène. Cependant cette supplémentation est bénéfique pour les sports de force et non pour les sports d'endurance car cela induit une prise de masse. (34) L'association de créatine et de glucides permettait d'obtenir des améliorations plus importantes de la force et de la composition corporelle (c'est-à-dire une augmentation de la masse maigre sans augmentation de la masse grasse) par rapport aux glucides seuls. L'association de créatine et de whey protéiné augmentait la force musculaire et la masse corporelle par rapport à une supplémentation en glucides ou whey protéiné uniquement.

Afin d'étudier l'impact des associations, des hommes ont été appariés pour la force maximale dans trois exercices d'haltérophilie et ensuite mis au hasard à l'un des quatre groupes de suppléments :

- Protéine de lactosérum → whey protéiné
- Créatine et whey protéiné (CrWP),
- Créatine et glucides (CrCHO)
- Hydrate de carbone uniquement (CHO)

Il a été demandé aux participants de consommer leur dose de supplément en trois portions égales tout au long de la journée. Ainsi cela a montré que le traitement avec créatine-glucides ou créatine-protéine de lactosérum a apporté de plus grandes améliorations de la force et de l'hypertrophie musculaire par rapport aux glucides seuls mais pas à la whey protéiné. Par contre, aucun avantage n'a été observé en combinant créatine-whey protéiné.

Dans cette étude, les groupes créatine-glucides, créatine-whey protéiné et whey protéiné ont tous montré une augmentation plus importante de la teneur en protéines contractiles par rapport au groupe glucides après le programme d'entraînement. De plus, le groupe whey protéiné a établi une plus grande amélioration de la force sur une répétition à une charge maximale par rapport au groupe traité par les glucides. Il a été démontré que les repas de whey protéiné fournissent une forte stimulation de la synthèse protéique et un plus grand gain net de protéines postprandiales par rapport à d'autres sources de protéines de haute qualité. La capacité du groupe whey protéiné à obtenir des gains de force similaires sans une forte augmentation du poids corporel, comme cela a été le cas pour les groupes créatine-glucides et créatine-whey protéiné, peut avoir des implications sportives importantes pour les personnes qui participent à des événements à poids limité.



**Figure 14 : Schéma comparatif de supplémentation**

Ce résultat a été renforcé par Candow et ses collaborateurs qui ont comparé les effets d'une supplémentation en protéines de lactosérum ou de soja par rapport à une supplémentation en glucides pendant un programme d'entraînement de résistance de 6 semaines sur la composition corporelle et la force musculaire (50). Les augmentations de la masse maigre ainsi que de la force du développé couché et du squat à une répétition maximum (RM) ont augmenté de manière significative pour les deux groupes de protéines par rapport à ceux recevant des glucides. Les auteurs ont suggéré que la supplémentation en protéines (lactosérum et soja) augmente la synthèse des protéines musculaires peu importe la source, ce qui a participé aux gains observés en matière de masse maigre et de force musculaire par rapport aux glucides.

#### 7. Apport en excès de protéines

Cependant, il faut préciser qu'un apport excessif de protéines peut avoir des effets néfastes sur la santé. La littérature a beaucoup écrit sur les dangers pour les os et les reins d'une consommation élevée et constante de protéines. Cependant, rien ne prouve que des problèmes rénaux se développent chez des individus en bonne santé, sur la base de la consommation de protéines. En outre, si un athlète a un problème rénal sous-jacent, un apport élevé en protéines peut être dangereux. En ce qui concerne les os, tant que l'alimentation comprend suffisamment de fruits et de légumes, l'acidose potentielle due à un régime riche en protéines ne devrait pas entraîner de perte de calcium dans les os. Le problème majeur de l'apport excessif de protéines chez les athlètes est qu'il se fait généralement au détriment d'autres nutriments, étant donné la limite d'énergie que l'on peut consommer. Le plus souvent, les protéines remplacent les glucides

(et parfois les lipides) qui sont essentiels à un bon entraînement. Ainsi, une consommation excessive de protéines pourrait nuire à la capacité de s'entraîner à des niveaux appropriés en raison d'un manque de nutriments nécessaires.

#### E. Le problème de l'inconfort digestif

Prendre soin de son tube digestif est primordial étant donné que les inconforts à ce niveau peuvent impacter la performance. L'effort physique entraîne une diminution de la vascularisation du tube digestif au profit des muscles squelettiques. Il se crée alors un phénomène d'ischémie digestive transitoire, suivie d'une revascularisation à la fin de l'exercice. C'est le phénomène d'ischémie-reperfusion qui est accompagné d'une production importante de radicaux libres.

L'apparition de troubles digestifs chez les personnes pratiquant une activité sportive régulière ont fait l'objet de nombreuses recherches qui ont montré leur fréquence importante. Les problèmes gastro-intestinaux sont une préoccupation des athlètes, et plus particulièrement ceux qui participent à des exercices d'endurance prolongés.

L'incidence des symptômes gastro-intestinaux se situe entre 30 et 50 %. Ces symptômes peuvent nuire à la performance et empêcher les athlètes de bien performer, voire de terminer une course.

Les causes des problèmes gastro-intestinaux pendant l'exercice sont variées, mais peuvent être liées à la consommation d'aliments avant et pendant l'exercice. Une consommation inappropriée d'aliments et de liquides ou des aliments auxquels l'athlète n'est pas habitué peuvent provoquer des troubles gastro-intestinaux. Il est donc vital pour les athlètes de sélectionner et de tester soigneusement leurs apports alimentaires et liquides avant le jour de la course.

Les processus digestifs ont besoin d'un apport de sang et d'énergie qui peut se trouver mis à mal au cours d'un travail musculaire. Le processus de digestion des aliments dans le corps humain peut prendre environ 24 à 72 heures. Cela suggère que ce n'est pas seulement l'apport alimentaire le jour de la course qui peut influencer le confort gastro-intestinal, mais aussi l'alimentation des jours précédant la course. Une consommation élevée de fibres est connue pour retarder la vidange gastrique des aliments, augmenter le volume intestinal et le remplissage

du côlon. Il n'est donc pas surprenant qu'une relation ait été observée entre les symptômes gastro-intestinaux survenant pendant l'exercice et un régime riche en fibres.

Ainsi quelques règles simples doivent être prises en compte, notamment chez les personnes vulnérables comme :

- L'adoption d'un régime sans résidu lors des dernières 48 à 72 heures avant un marathon.  
Un régime sans résidu correspond à une alimentation qui laisse le moins possible de restes d'aliments, qui ne sont ni digérés ni absorbés au niveau de l'intestin. Ainsi lors d'un régime sans résidu sont exclus de l'alimentation les fibres alimentaires qui ne se digèrent pas et restent longtemps dans les intestins comme les légumes, les fruits, les céréales complètes comme le pain complet, le riz complet, les viandes à fibres tendineuses. Les aliments autorisés comprennent les viandes maigres, les poissons maigres (colin, le cabillaud, le merlan, la daurade), les œufs, les féculents comme les pommes de terre, le riz, les pâtes, la semoule, le pain blanc, le lait et les produits laitiers comme les yaourts, les fromages blancs et les fromages à pâte dure.
- Le respect d'un certain temps entre le dernier repas et l'entraînement qui suit
- Le choix d'aliments bien tolérés au cours du dernier repas (avec une prudence vis-à-vis du lactose qui peut être la cause de troubles digestifs)
- La suppression des solides en cours d'activité intense.

Pour éviter les inconforts digestifs, cela passe également sur les modalités d'hydratation à l'effort, la fréquence des prises, le volume absorbé.

La probabilité qu'une personne souffre de troubles gastro-intestinaux varie selon le mode d'exercice. Les problèmes gastro-intestinaux sont plus fréquents pendant la course à pied que pendant le cyclisme ou tout autre sport où le corps est en position relativement immobile

Cependant, l'inconfort digestif lors des épreuves sportives, est propre à chacun et il n'est donc pas raisonnable de proposer un protocole standardisé visant à assurer un confort digestif optimal, certains sujets n'ayant pas besoin de procéder à des évictions trop sévères, à l'inverse d'autres beaucoup plus vulnérables. Ainsi l'athlète doit choisir minutieusement les aliments qu'il tolère bien et éviter ceux qui pourraient poser problème.

## F. Conseils pour optimiser les effets de l'alimentation sur les performances

Les enquêtes montrent une sous-alimentation des sportifs. En effet, leur alimentation ne diffère pas de beaucoup comparé à celle de la population générale, avec une surconsommation de lipides comparé aux recommandations et une sous consommation de glucides. En effet, les observations scientifiques ont démontré qu'environ 70% des athlètes d'endurance consomme le minimum recommandé ; pour les athlètes de force, environ 33 % consomme ce minimum. Par rapport aux recommandations admises, on constate un excès systématique des apports lipidiques qui se situent entre 35 et 39 % de l'apport énergétique total avec une insuffisance de la part glucidique allant de 42 à 48 % ; seule la part protéique entre 15 et 18 % se trouve au niveau des apports conseillés.

Or chez les sportifs, l'apport glucidique devrait être plus important. L'apport protéique semble quant à lui respecter les recommandations. Le fait que le sportif mange quasiment la même chose que la population générale est dû au fait que le sportif vient d'une famille lambda (pas forcément très sportive) et donc consomme la même chose que ce que prépare la famille. Or un apport énergétique approprié est indispensable au régime alimentaire de l'athlète, car il favorise un fonctionnement optimal de l'organisme, détermine la capacité d'absorption des macronutriments et des micronutriments, et aide à manipuler la composition corporelle.

Les besoins énergétiques d'un athlète dépendent du cycle d'entraînement, selon que l'athlète est en période d'entraînement ou de compétition. Les dépenses varient d'un jour à l'autre en fonction du plan d'entraînement, du volume et de l'intensité des entraînements.

Dans le but de maximiser les effets de l'alimentation sur les performances sportives, on peut donner des conseils permettant d'allier résultat sportifs et alimentation :

- Limiter la déshydratation, notamment due à la sueur
- Limiter la perte des minéraux, due à la transpiration
- Gérer l'épuisement des réserves énergétiques, surtout celles du glycogène et du glucose
- Protéger les fibres musculaires en compensant les pertes protéiques
- Mobiliser les acides gras qui se trouvent dans les muscles et le tissu adipeux
- Ne pas être stressant en ayant une alimentation régulière

De manière générale, pour permettre une récupération optimale après un entraînement, les athlètes doivent prendre en considération :



- L'hydratation
- La restauration des glucides métabolisés
- La restauration/réparation des protéines endommagées
- Le remodelage des protéines.

#### G. Guide pour adapter l'alimentation à l'effort

En règle générale, et quel que soit le type de sport pratiqué, si les compétitions s'enchaînent très régulièrement, les habitudes alimentaires risquent d'être modifiées. Il s'agit d'adapter son alimentation selon le but recherché, la durée de l'activité ainsi que l'environnement de l'effort. Mais l'alimentation de chaque sportif doit rester complète, équilibrée et variée ; ceci afin de garder les performances les plus hautes pendant le temps voulu. Cela va se passer par des apports hydriques, et alimentaires adéquats, ce qui permettra à notre corps et notre cerveau de réussir à maintenir l'effort.

Les activités sportives peuvent être classées de diverses manières. On retrouve :

- Les sports athlétiques comme la course de vitesse, gymnastique, VTT
- Les sports collectifs comme le football, basket, handball
- Les sports d'endurance tel que le cyclisme, ski de fond, natation, randonnée
- Les sports de force comme les sports de combat, l'haltérophilie

Ainsi selon la catégorie de sport, on peut proposer un petit guide pour adapter au mieux l'alimentation à l'effort.

#### ◆ Si l'on pratique un sport athlétique

Il s'agit de sports d'intensité élevée qui ont lieu sur un temps relativement court. Dans ce cas, l'alimentation doit permettre une augmentation de la force musculaire mais aussi de faire le plein de glucides. Car lors d'un effort intense, ce sont surtout eux qui seront transformés en énergie.

Les conseils :

- Pour augmenter la force musculaire, il est intéressant de combiner l'entraînement avec des apports en protéines suffisants, pouvant atteindre 1,7g de protéines par kg de poids corporel par jour. Les protéines se trouvent essentiellement dans les viandes, poissons,

œufs, les produits laitiers, les légumineuses et céréales complètes. Des compléments alimentaires tel que la whey protéiné peuvent aider le sportif à atteindre ses objectifs, mais il faut veiller à bien respecter leurs posologies.

- Les apports en glucides peuvent être augmentés 4 à 5 jours avant la compétition dans le but d'accroître la quantité de réserve glucidique. Dans cette optique, il est important de consommer à chaque repas des aliments à index glycémique bas tels que les céréales complètes et les légumineuses.
- Enfin, il ne faut pas oublier la phase de récupération avec un apport en eau associé à un aliment glucidique et protéiné (par exemple une boisson dite de récupération).

#### ◆ **Si l'on pratique un sport collectif**

Les sports collectifs correspondent à des efforts de durée moyenne et d'intensité plutôt élevée. Là encore, ce sont les glucides qui vont être fortement mobilisés.

Les conseils :

- Le dernier repas doit être pris 3h avant le début du match : riche en glucides simples et complexes. Il doit être relativement pauvre en lipides, en protéines et fibres alimentaires pour ne pas surcharger le tube digestif et occasionner des troubles intestinaux. Si le dernier repas est léger ou éloigné de l'épreuve sportive, il est possible de prendre une boisson glucidique ou bien un produit glucidique (barre de céréales ou fruit) 30 minutes avant le match.
- Il est nécessaire de reprendre des forces et de s'hydrater pendant les mi-temps : boisson sucrée, fruits secs, barre céréalière, gel énergétique...
- Enfin, la récupération est une phase qu'il ne faut pas négliger notamment lorsque les entraînements et les matchs sont relativement rapprochés. Il s'agit de s'hydrater et de consommer des produits glucidiques et protéinés dès la fin de l'effort.

#### ◆ **Si l'on pratique un sport d'endurance**

Il s'agit des activités sportives pour lesquelles les dépenses énergétiques sont les plus importantes. L'organisme va puiser dans ses réserves glucidiques ainsi que dans son stock de graisses. Pour se faire une idée, un marathon entraîne une dépense de 750 à 1500 kcal par heure, en fonction de la vitesse de course.

Les conseils :

- L'alimentation doit être complète et copieuse pendant l'entraînement. Tous les groupes d'aliments ont leur importance et il faut veiller à consommer des féculents à chaque repas.
- Il est également possible 4 à 5 jours avant la compétition d'augmenter ses apports en glucides en privilégiant les aliments à index glycémique bas.
- La veille et le jour de l'épreuve, il faut préserver et maintenir ses réserves en glucides (comme une "pasta party" pour le repas de la veille de l'épreuve). Le dernier repas doit surtout être constitué de glucides à absorption lente (céréales et légumineuses) pour que l'énergie soit apportée progressivement jusqu'au début de l'épreuve. Attention aux glucides simples qui peuvent engendrer des hypoglycémies et des malaises.
- Pendant la compétition, le sportif aura besoin d'hydratation : Ainsi les boissons à privilégier doivent être choisies en fonction de l'objectif à atteindre. Par exemple par temps chaud, il faut privilégier la disponibilité en eau avec des boissons faiblement concentrées en glucides (30 à 60 g/l). Par temps froid, il faut privilégier la disponibilité en énergie en proposant des boissons modérément concentrées en glucides (70 à 90 g/l). Le débit de consommation de ces boissons sera à adapter en fonction des conditions climatiques (variant de 250 à 300 ml/15-20 min).

◆ Si l'on pratique un sport de force

L'objectif premier est d'accroître la force musculaire. Dans ces disciplines, les besoins en protéines vont jusqu'à 2g par kg de poids corporel par jour. L'apport protidique et l'entraînement vont donc être un facteur décisif. Mais, pendant la compétition, les glucides sont également nécessaires pour mobiliser toute sa concentration.

Les conseils :

- Varier les sources protidiques et s'hydrater au maximum. En effet, l'eau participe à toutes les réactions chimiques de l'organisme, y compris la construction musculaire. L'idéal est de consommer une portion de 150g de viande, poisson ou 2 œufs au moins 2 fois par jour, d'incorporer un produit laitier à chacun des repas en les variant le plus possible (lait, yaourts, fromages blancs, fromages). Dans certains cas, il est également

possible d'utiliser des compléments hyperprotéinés en veillant à bien respecter les doses pour compléter l'alimentation.

- Pendant la compétition, il faut prévoir un produit glucidique en cas d'attente et pour maintenir la vigilance
- Il ne faut pas négliger la phase de récupération pour éviter les blessures musculaires, en s'hydratant et en consommant des glucides et des protéines dès la fin de l'effort.

Il est primordial de s'hydrater tout au long de l'effort, particulièrement lorsque l'activité dépasse une heure. En outre, l'eau permet de drainer les déchets accumulés dans l'organisme pendant l'effort, réduisant ainsi les crampes, fatigue musculaire et blessures.

Il n'est pas utile de prendre un repas trop copieux avant le sport. Un repas copieux risque de peser sur l'estomac pendant l'effort. Avant un exercice physique, il est important d'économiser son énergie en mettant le système digestif au repos. On prend un repas complet 3 heures avant l'exercice avec des aliments à index glycémique faible (légumineuses, céréales complètes, fruits et légumes) qui apporteront progressivement de l'énergie et permettront d'éviter les fringales.

#### H. Nouvelles stratégies en termes de nutrition sportives

On retrouve une large panoplie de stratégies ayant pour but d'améliorer les performances sportives.

Les études récentes ont tendance à considérer la nutrition pour les sportifs en deux catégories :

- La nutrition de compétition
- La nutrition d'entraînement

La nutrition de compétition a pour but la performance tandis que la nutrition d'entraînement a comme objectif l'adaptation.

##### 1. Régime faible en glucides et riches en lipides

L'alimentation en glucides pendant l'exercice permet d'augmenter la performance de l'exercice par le biais de mécanismes qui consiste à économiser le glycogène musculaire et le glycogène hépatique.

Des modèles ont réalisé une restriction modérée à extrême des glucides, avec en parallèle une augmentation des graisses à 65% ou 80% de l'énergie. Attention ces régimes ne sont pas à assimiler à d'autres régimes à haute teneur en protéines et à teneur réduite en glucides, comme le régime paléo.

Plusieurs études ont confirmé que l'exposition d'un régime faible en glucides et riches en lipides entraînait une modification importante des facteurs de régulation de l'utilisation des graisses comme une augmentation des réserves de triglycérides dans les muscles, une augmentation de l'activité de la lipase hormono-sensible qui mobilise les triglycérides dans les muscles et les tissus adipeux. De plus, l'augmentation de l'utilisation des graisses pendant l'exercice a perduré face à des apports abondants en glucides. Mais il est bon de noter que ces études n'ont pas réussi à trouver des preuves d'avantages universels en termes de performance, mais ont permis de découvrir des mécanismes expliquant les changements métaboliques dans le muscle.

La prise chronique d'un régime faible en glucides et riches en lipides nuit à l'utilisation du glycogène pendant l'exercice plutôt que de l'épargner en réduisant la glycogénolyse. Cette avancé dans les recherches a incité à dire que le régime faible en glucides et riches en lipides avait peu de rôle à jouer dans la préparation des athlètes de compétition, car il risquait d'altérer leur capacité à pratiquer des exercices de haute intensité. (35)

## 2. Nutrition périodique

La nutrition périodique, également appelée entraînement nutritionnel, consiste à utiliser stratégiquement l'entraînement physique et la nutrition afin d'améliorer les performances sportives. Autrement dit la nutrition périodique se définit comme la modification de l'apport alimentaire en vue de certaines périodes d'entraînements pour améliorer les performances.

La réponse adaptative à l'entraînement physique est déterminée, comme vu précédemment, par une association de facteurs comme la durée, l'intensité, le type d'exercice, la fréquence de l'entraînement, mais aussi par la qualité et la quantité de l'alimentation dans les périodes pré et post-exercice.

Le choix de la méthode d'entraînement nutritionnel dépend des objectifs. Par exemple, si le but est de développer le métabolisme des graisses on peut jouer sur l'entraînement avec une faible disponibilité en glucides. Tandis que si on souhaite augmenter les capacités d'absorption

gastro-intestinale de glucides, une augmentation des glucides dans l'alimentation sera à privilégier (51).

<b>Entraînement faible</b>	Entraînement 2 fois par jour	Apport limité ou nul en glucides entre les deux séances. Le premier entraînement va réduire le glycogène musculaire de manière que le deuxième entraînement soit réalisé dans un faible état de glycogène. Cela peut augmenter l'expression de gènes pertinents.
	Entraînement à jeun	L'entraînement est effectué après un jeûne de nuit. Le glycogène musculaire peut être normal voire élevé, mais le glycogène hépatique est faible.
	Entraînement avec une faible disponibilité de glucides exogènes	Aucun glucide ou très peu de glucides n'est ingéré pendant un exercice prolongé. Cela peut amplifier la réponse au stress.
	Faible disponibilité de glucides pendant la récupération	Aucun glucide ou très peu de glucides n'est ingéré après un exercice prolongé. Cela peut amplifier la réponse au stress.
	Dormir peu	S'entraîner tard dans la journée et aller au lit avec un apport en glucides limité. Cela ressemble à la faible disponibilité de glucides après l'entraînement mais la période qui suit l'exercice est prolongée. Le glycogène hépatique et musculaire sera faible pour plusieurs heures pendant le sommeil
<b>Entraînement élevé</b>	Entraînement avec un taux élevé de glycogène musculaire et hépatique	La consommation de glucides est élevée avant l'entraînement, lorsque le glycogène est important, et l'accent est mis sur la restauration du glycogène après l'entraînement
	Entraînement avec un régime riche en glucides	La consommation de glucides est élevée au quotidien, indépendamment de l'entraînement, mais peut être particulièrement élevée autour de l'entraînement (pendant et après).

<b>Entraînement de l'intestin</b>	Entraînement du confort de l'intestin	Augmentation du volume avec ou sans exercice physique.
	Entraînement de la vidange gastrique	Utilisation répétée de repas pour augmenter/améliorer la vidange gastrique et réduire l'inconfort gastrique.
	Entraînement de l'absorption	Augmenter la consommation quotidienne de glucides et/ou la consommation pendant l'exercice pour améliorer la capacité d'absorption de l'intestin et réduire l'inconfort intestinal.
<b>Entraînement déshydraté</b>	Entraînement dans un état de déshydratation	Entraînement avec un apport limité voir nul en liquides pour permettre la déshydratation.
<b>Améliorer les adaptations avec des suppléments</b>	Suppléments	Les suppléments peuvent permettre d'effectuer plus d'entraînement. Les suppléments peuvent initier ou augmenter la synthèse des protéines.

Parmi les méthodes de nutrition adaptative on retrouve :

- **L'entraînement à faible teneur en glucides** → cela part du principe d'apporter un faible apport en glucides dans l'alimentation.
  - *Entraînement deux fois par jour* : Le principe va être d'avoir un apport limité ou nul en glucides entre deux séances. Le premier entraînement va faire baisser le glycogène musculaire et le deuxième entraînement sera réalisé dans un état de glycogène faible. Hulston et ses collaborateurs, ainsi que Yeo ont examiné les effets d'un entraînement à faible teneur en glucides dans un contexte plus réaliste. Dans les deux études, des cyclistes se sont entraînés deux fois par jour

(tous les deux jours) ou une fois par jour. La première observation était que les cyclistes qui s'entraînaient deux fois par jour (entraînement faible) ne pouvaient pas maintenir la même intensité que les cyclistes qui s'entraînaient une fois par jour. Par ailleurs, Hulston et ses collaborateurs ont rapporté que la teneur en protéines était plus élevée lors d'un entraînement faible (c'est à dire deux fois par jour) et que la capacité à utiliser les graisses comme carburant était améliorée (41). Cependant, aucune différence de performance n'a été constatée après 3 semaines d'entraînement avec un faible taux de glycogène par rapport au groupe témoin. Il se peut que l'absence de différence observée au bout de 3 semaines soit dû au fait que l'étude était relativement courte dans le temps pour pouvoir démontrer des changements dans la performance. Néanmoins, il semble que l'entraînement deux fois par jour puisse entraîner des adaptations qui favorisent le métabolisme des graisses.

- *Entraînement à jeun* : le dernier repas est pris entre 20 et 22 heures la veille, et l'entraînement est réalisé le matin avant le petit-déjeuner. Lors d'un entraînement à jeun, le glycogène musculaire ne devrait pas être affecté par le jeûne de la nuit, mais le glycogène hépatique sera très faible. Des études menées par Hespel et ses collègues ont démontré que l'entraînement à jeun peut induire des adaptations plus profondes que l'entraînement à l'état nourri (52). En effet, il semble que l'entraînement à jeun soit plus efficace pour augmenter la capacité oxydative des muscles. Ils ont également observé que l'utilisation des graisses était augmentée avec l'entraînement à jeun et ont noté des améliorations dans la régulation de la glycémie. Cette observation a également été faite par De Bock qui a montré que l'exercice à jeun facilite l'utilisation des graisses pendant l'exercice et améliore la resynthèse du glycogène. Cependant les études menées jusqu'à présent se sont concentrées sur les adaptations métaboliques et peu d'entre elles ont abordé les effets potentiels sur la performance à l'effort, comme par exemple de savoir si l'entraînement à jeun entraîne une amélioration de la performance au cours du temps.
- *Faible disponibilité de glucides pendant la récupération* : Aucun ou très peu de glucides sont ingérés après l'exercice. Une autre façon de s'entraîner faiblement serait de supprimer les glucides du régime alimentaire et de suivre un régime à long terme, pauvre en glucides et riche en graisses. Il a été établi dans les années



1920 que la réduction de l'apport en glucides et l'augmentation de l'apport en graisses entraînent des taux plus élevés d'oxydation des graisses. Cependant, on a également observé que les sujets de cette étude se sentaient plus fatigués et que la capacité d'exercice était réduite. Il existe une étude qui est souvent avancée comme preuve des avantages d'un régime cétogène (régime dans lequel les lipides fournissent l'essentiel des calories tandis que les glucides sont apportés en très faible quantité). Dans les années 1980, une étude portant sur cinq sujets a montré qu'un régime cétogène, contenant moins de 20 grammes de glucides par jour, pendant une période prolongée (4 semaines) entraînait une augmentation de l'oxydation des graisses. Il se peut qu'avec ce type de régime, l'oxydation des graisses soit accrue en raison de l'incapacité à utiliser les glucides. Cependant, les glucides étant des substrats importants pour les exercices de haute intensité, de telles adaptations ne sont pas souhaitées. Une étude menée par Burke et ses collaborateurs a démontré qu'il n'y avait aucun avantage à suivre un régime cétogène par rapport à un régime riche en glucides, ou une approche mixte (plus ou moins de glucides selon l'entraînement) chez des athlètes d'endurance d'élite.

- **Entraînement à forte teneur en glucides** → L'entraînement élevé fait référence à un entraînement avec une disponibilité importante de glucides. Les niveaux de glycogène musculaire et hépatique sont élevés au début de l'exercice et/ou les glucides sont apportés pendant l'exercice. Il a été prouvé que les glucides sont importants pour maintenir la qualité de l'entraînement d'endurance et réduire les symptômes de fatigue et d'effort excessif. Des études ont mis en scène un scénario de camp d'entraînement où les athlètes ont effectué une à deux semaines d'entraînement intensif, ce qui a induit une fatigue extrême et une diminution des performances à la fin de la période d'entraînement. Ces recherches ont permis de constater que lorsque les athlètes recevaient un supplément de glucides et que leur apport global en glucides était plus élevé, les baisses de performance étaient moins importantes, malgré le fait qu'ils effectuaient plus de travail à l'entraînement

3. Entraînement avec un faible taux de glycogène musculaire et amélioration du métabolisme des graisses

Les glucides sont le substrat majoritaire utilisé lors d'un exercice prolongé à des intensités supérieures à 65% de la consommation maximale d'oxygène ( $VO_{2max}$ ). L'épuisement du glycogène est lié à la survenue de la fatigue. Ainsi, les athlètes d'endurance consomment beaucoup de glucides dans l'idée que s'entraîner plus longtemps et/ou plus intensément, favorisera une meilleure adaptation à l'entraînement.

Un entraînement d'endurance régulier conduit à de multiples adaptations qui améliorent les performances, comme une augmentation de la  $VO_{2max}$  et une modification du métabolisme des substrats, qui passe de l'oxydation des glucides à celle des lipides. Une récente étude menée par Yeo WK et ses collaborateurs, a démontré chez des cyclistes, que l'intensité de l'entraînement était réduite lorsque l'entraînement par intervalle à haute intensité démarrait avec un glycogène musculaire faible (53). Mais, après avoir terminé la période d'entraînement, la performance cycliste en contre-la-montre était améliorée dans une mesure similaire dans les groupes à glycogène élevé et faible. Une autre observation était que l'entraînement avec un faible taux de glycogène musculaire entraînait des taux plus élevés d'oxydation des graisses du corps entier pendant l'exercice, alors que l'entraînement avec un taux élevé de glycogène musculaire n'avait aucun effet sur le métabolisme des substrats.

L'un des principaux résultats de l'étude menée par Hulston et ses collègues est que l'oxydation des graisses du corps entier, pendant un exercice d'intensité modérée, était plus importante après un entraînement avec un faible taux de glycogène musculaire.

Pour cela ils ont constitué deux groupes de cyclistes avec un groupe d'entraînement à glycogène élevé et un groupe d'entraînement à glycogène faible.

Il a été révélé que l'oxydation des acides gras plasmatiques était similaire avant et après l'entraînement dans les deux groupes, mais que l'oxydation des triglycérides d'origine musculaire était plus élevée après un entraînement avec un faible taux de glycogène musculaire. Il a été prouvé que l'entraînement d'endurance augmente l'utilisation des triglycérides musculaires pendant l'exercice chez des hommes non entraînés.

On constate donc qu'un entraînement de 3 semaines avec un faible taux de glycogène musculaire peut augmenter de façon importante l'utilisation des triglycérides musculaires chez un groupe de sujets. (54)

#### 4. Régime paléolithique

Le régime paléo, ou paléolithique vise à adopter la même alimentation que celle de nos ancêtres pour respecter les besoins physiologiques de l'organisme et l'aider à fonctionner de manière optimale. Selon la doctrine de ce régime, les régimes modernes sont inadaptés à notre composition génétique. L'évolution n'a pas suivi le rythme des progrès de l'agriculture et de l'agro-alimentaire, ce qui a entraîné une multitude de problèmes de santé chez l'homme moderne. Les maladies coronariennes, le diabète, le cancer, l'ostéoporose, l'obésité ont tous été scientifiquement corrélés à une alimentation trop riche en glucides raffinés ou transformés. Le modèle de l'homme des cavernes est parfaitement cohérent avec le programme Cross Fit par exemple.

La consommation excessive de glucides à indice glycémique élevé est la principale responsable des problèmes de santé liés à l'alimentation. Les glucides à indice glycémique élevé sont ceux qui provoquent une augmentation trop rapide du taux de sucre dans le sang. Il s'agit notamment du riz, du pain, des confiseries, des pommes de terre, des sucreries, des boissons gazeuses et de la plupart des glucides transformés. Le processus de transformation peut inclure le blanchiment, la cuisson, le broyage et le raffinage. La transformation des glucides augmente leur indice glycémique. Le problème des glucides à indice glycémique élevé est qu'ils favorisent une réponse insulinaire anormale. Une élévation sévère chronique du taux d'insuline provoque un hyperinsulinisme, qui a été associé à l'obésité, à une élévation des taux de cholestérol et de la pression artérielle. Le régime alimentaire préconisé par le régime paléo est caractérisé par un faible indice glycémique (et une quantité assez faible de glucides), ce qui atténue sensiblement la réponse insulinaire, tout en étant suffisamment nourrissant pour pratiquer un entraînement rigoureux.

Les caractéristiques du régime paléo sont :

- La consommation de protéines animales et de végétaux
- Produits laitiers et céréales sont exclus de l'alimentation
- Apprécié chez le sportif car améliorerait la performance
- Perte de poids rapide, de masse grasse notamment

Cependant, il existe un risque de carences nutritionnelles s'il est mal mené.

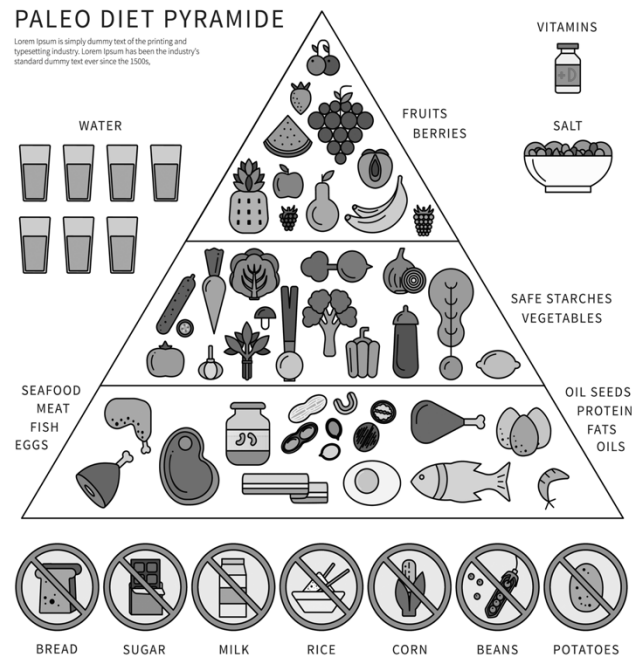
Dans le régime paléolithique, les aliments à consommer sont :

- De la viande maigre

- Du poisson
- Des fruits de mer
- Des œufs
- Des fruits et légumes
- Des huiles végétales non transformée
- Des noix

Tandis que les aliments devant être exclus du régime paléolithique sont :

- Toutes les céréales et légumineuses
- Les produits laitiers
- Les tubercules (igname, manioc, pomme de terre)
- Les produits sucrés et les produits transformés
- Les boissons gazeuses



**Figure 15 : Régime Paléolithique (55)**

Le régime paléo apporte des avantages indéniables. En effet, l'absence d'aliments à index glycémique élevé favorise l'utilisation des graisses et limite la prise de poids, deux effets particulièrement bénéfiques pour le sportif d'endurance. De plus, le caractère alcalinisant de cette alimentation est intéressant par son rôle protecteur du capital osseux et limiteur de la fonte musculaire ce qui est important pour le sportif. Ensuite, la diminution des aliments allergisants comme le gluten et les produits laitiers permet de protéger le système digestif. Ce rôle protecteur du système digestif est utile au sportif car la pratique sportive intensive (en particulier la course à pied) agresse le système digestif. De plus, cela pourrait permettre de limiter les trop fréquents troubles digestifs à l'effort. Cependant, ce régime ne sera pas facilement compatible avec la pratique des sports d'endurance intensifs.

En effet, il faut se rendre compte que la pratique intensive d'un sport d'endurance n'est pas « paléo ». Pour le sportif d'endurance occasionnel ce type de régime peut convenir à condition de manger beaucoup de légumes et de fruits. Alors que pour le sportif d'endurance plus intensif, il sera difficile avec ce régime d'avoir une ration glucidique suffisante.

Le régime Paléo va être compatible avec la plupart des sports de force mais il existera de grandes variations individuelles sur l'impact en termes de développement physique et de performance. De plus le régime Paléo ne permet pas de faire une « prise de masse » spécifique à la musculation, pendant laquelle les niveaux d'insuline doivent être élevés, ce qui est difficile avec cette alimentation ancestrale.

Le modèle paléo pourrait être utile au sportif d'endurance non « performeur » ne réalisant pas trop de séances d'intensité, toujours dans le même but d'améliorer l'utilisation des lipides. Enfin, cela pourrait être particulièrement utile au sportif qui chercherait à perdre du poids, car cela favoriserait la perte de masse grasse tout en maintenant la masse musculaire.

## CONCLUSION

La nutrition est, en complément d'un entraînement physique, un facteur déterminant de la performance chez le sportif. Penser améliorer la performance physique d'un sportif par des apports nutritionnels complémentaires est leurre si au départ son alimentation est déséquilibrée ou insuffisamment variée. A l'heure actuelle, la nutrition fait souvent partie intégrante des programmes d'entraînements. La nutrition mise en place doit pouvoir permettre de couvrir certains apports en macronutriments comme les glucides, doit s'assurer de la qualité des macronutriments et de la diversité des micronutriments apportés. Cette adaptation alimentaire doit lui permettre grâce à un meilleur statut nutritionnel, d'éviter la contre-performance et

d'avoir une meilleure récupération. Des ajustements de l'alimentation sont nécessaires en fonction du sport réalisée, de son intensité, de sa durée et tenir également l'activité à dominante d'endurance ou de force.

Comme discuté dans ce travail de thèse, le plus important est d'avoir une alimentation normoglycémique, voire hyperglycémique à base d'aliments à index glycémique bas. Il est important d'expliquer au sportif que leur consommation, juste avant l'effort et pendant toute la durée de celui-ci, est indispensable pour que l'organisme soit le plus performant possible. Lorsque l'exercice dure plus d'une heure, les athlètes doivent ingérer des boissons à base de glucides afin de maintenir les niveaux de glucose dans le sang et d'aider à prévenir la déshydratation. De même, les 2 à 3 jours précédant la compétition, les athlètes doivent réduire leur entraînement de 30 à 50 % et ajouter 200 à 300 g/j de glucides supplémentaires à leur alimentation. Il a été démontré que cette technique de surcharge en glucides permet de saturer les réserves de glucides avant la compétition et d'améliorer la capacité d'exercice en endurance. Les lipides ne doivent pas être négligés, même s'ils ne changent rien au niveau de la performance car l'apport d'oméga 3 a un effet bénéfique en diminuant l'inflammation provoquée par l'exercice. Pour les protéines, leur ingestion concomitante avec des glucides en période de récupération permet d'activer la vitesse de synthèse des protéines et de réduire la protéolyse. Pendant l'exercice musculaire, seuls les acides aminés branchés (AAB) sont utilisés avec l'augmentation de l'intensité de l'exercice et la diminution des stocks de glycogène. Leur supplémentation n'a pas d'utilité démontrée pendant l'exercice physique mais a un intérêt dans les deux heures suivant l'effort pour la reconstruction des protéines lysées. Penser à bien s'hydrater. La quantité à apporter sera plus importante avec l'augmentation de la durée de l'effort et/ou de la température extérieure. On conseillera au sportif de consommer une boisson isotonique par petites gorgées, toutes les dix minutes environ lors de l'effort. En plus des stratégies nutritionnelles générales énoncées précédemment, la recherche a démontré que le moment et la composition des repas consommés peuvent jouer un rôle dans l'optimisation des performances. De sorte qu'il faut environ 4 heures pour que les glucides soient digérés et commencent à être stockés sous forme de glycogène musculaire et hépatique. Ainsi, les repas avant l'exercice doivent être consommés environ 4 à 6 heures avant l'exercice. Ce qui veut dire que si un athlète s'entraîne l'après-midi, le petit-déjeuner est le repas le plus important pour compléter les niveaux de glycogène musculaire et hépatique. L'ingestion d'une collation légère à base de glucides et de protéines 30 à 60 minutes avant l'exercice permet d'augmenter la disponibilité des glucides vers la fin d'une séance d'exercice intense. Cela permet également

d'augmenter la disponibilité des acides aminés et de diminuer le catabolisme des protéines induit par l'exercice.

Il faut avoir conscience que chaque discipline sportive nécessite d'avoir une alimentation adaptée vis-à-vis de ces objectifs nécessitant une bonne connaissance du domaine de la nutrition du sport, basée sur des notions de quantité, de qualité, de diversité et de répartition. Le pharmacien peut être sollicité par des "sportifs débutants" qui souvent se posent la question de la complémentation ou par des athlètes déjà bien informés. Apporter un bon conseil nécessitera un questionnement approfondi du sportif sur sa période de préparation, sa stratégie nutritionnelle pendant l'effort et sur sa récupération. La recherche obsessionnelle d'une optimisation de l'alimentation peut conduire à des effets délétères à long terme sur les performances et surtout pour la santé du sportif. Il est donc important que le professionnel de santé insiste sur le fait qu'un régime restrictif dans le temps pourrait avoir des conséquences.

Pour conclure, les recherches concernant l'impact de l'alimentation sur les performances sportives sont de plus en plus nombreuses, et de multiples nouveaux principes émergent au fil des années. Ainsi, il faut avoir conscience que ce que nous pensons acquis comme connaissances aujourd'hui, pourrait vite devenir obsolète d'ici quelques années du fait de l'avancée des connaissances dans ce domaine. La prise en charge nutritionnelle du sportif est devenue un domaine en pleine essor.

## Bibliographie

1. Boston 677 Huntington Avenue, Ma 02115 +1495-1000. Healthy Eating Plate [Internet]. The Nutrition Source. 2012 [cité 20 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/healthy-eating-plate/>
2. Bigard X. 1 - Apports énergétiques chez le sportif. In: Bigard X, Guezennec CY, éditeurs. Nutrition du Sportif (Troisième Édition) [Internet]. Paris: Elsevier Masson; 2017 [cité 17 juin 2022]. p. 1-22. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9782294754333000013>
3. Martin A, Potier de Courcy G. Besoins nutritionnels et apports conseillés pour la satisfaction de ces besoins. EMC - Endocrinol - Nutr. janv 2012;9(1):1-26.
4. A.-X. Bigard et Y. Guezennec. Médecine du sport pour le praticien [Internet]. (2013). Disponible sur: [https://ia801303.us.archive.org/9/items/Medecine\\_du\\_sport\\_pour\\_le\\_praticien\\_5eme\\_edition/Medecine\\_du\\_sport\\_pour\\_le\\_praticien\\_5eme\\_edition.pdf](https://ia801303.us.archive.org/9/items/Medecine_du_sport_pour_le_praticien_5eme_edition/Medecine_du_sport_pour_le_praticien_5eme_edition.pdf)
5. Disponibilité énergétique : comment s'y prendre pour la gérer adéquatement? [Internet]. Institut national du sport du Québec. 2021 [cité 7 juill 2021]. Disponible sur: <https://www.insquebec.org/nouvelles/disponibilite-energetique-comment-sy-prendre-pour-la-gerer-adequatement/>
6. img-8.jpg (Image JPEG, 517 × 365 pixels) [Internet]. [cité 10 août 2021]. Disponible sur: <https://books.openedition.org/insep/docannexe/image/1217/img-8.jpg>
7. Bigard X. Union cycliste internationale, Aigle, Confédération helvétique. Rev Prat. 2020;70:5.
8. Chevallier L. 1 - Les glucides. In: Chevallier L, éditeur. Nutrition : principes et conseils (Troisième Édition) [Internet]. Paris: Elsevier Masson; 2009 [cité 4 juin 2021]. p. 1-13. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9782294708176000011>
9. Index glycémique [Internet]. [cité 18 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.sport-passion.fr/dietetique-fitness-minceur/index-glycemique.php>
10. CF Level 1.
11. Phillips SM. Protein requirements and supplementation in strength sports. Nutrition. juill 2004;20(7-8):689-95.
12. Eau et hydratation : Bases physiologiques chez l'adulte [Internet]. [cité 19 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.hydratationforhealth.com/fr/sciences-de-lhydratation/laboratoire-dhydratation/eau-et-hydratation-bases-physiologiques-chez-ladulte/>
13. Bytowski JR. Fueling for Performance. Sports Health. févr 2018;10(1):47-53.
14. McArdle W, Katch FI, Katch VL. Nutrition et performances sportives. De Boeck Supérieur; 2004. 738 p.
15. van der Beek EJ, van Dokkum W, Wedel M, Schrijver J, van den Berg H. Thiamin, riboflavin and vitamin B6: impact of restricted intake on physical performance in man. J Am Coll Nutr. déc 1994;13(6):629-40.
16. Nutrition and Athletic Performance. Med Sci Sports Exerc. mars 2009;41(3):709-31.
17. Klissouras V, éditeur. Les bases de la physiologie du sport. In: Les Bases de la Physiologie du Sport [Internet]. Paris: Elsevier Masson; 2017 [cité 19 juin 2022]. p. V. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9782294752308000806>
18. culture\_nutrition\_infographie\_pnns\_4.jpg (Image JPEG, 2481 × 5632 pixels) - Redimensionnée (11%) [Internet]. [cité 4 août 2021]. Disponible sur: [https://www.culture-nutrition.com/wp-content/uploads/2019/01/culture\\_nutrition\\_infographie\\_pnns\\_4.jpg](https://www.culture-nutrition.com/wp-content/uploads/2019/01/culture_nutrition_infographie_pnns_4.jpg)
19. Brooks GA, Mercier J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the « crossover » concept. J Appl Physiol Bethesda Md 1985. juin 1994;76(6):2253-61.



20. Cameron JD, Cyr MJ, Doucet É. Increased meal frequency does not promote greater weight loss in subjects who were prescribed an 8-week equi-energetic energy-restricted diet. *Br J Nutr.* 28 avr 2010;103(8):1098-101.
21. Alencar MK, Beam JR, McCormick JJ, White AC, Salgado RM, Kravitz LR, et al. Increased meal frequency attenuates fat-free mass losses and some markers of health status with a portion-controlled weight loss diet. *Nutr Res.* mai 2015;35(5):375-83.
22. Gonzalez J, Fuchs C, Betts J, Loon L. Liver glycogen metabolism during and after prolonged endurance-type exercise. *AJP Endocrinol Metab.* 20 juill 2016;311.
23. Hearn MA, Hammond KM, Fell JM, Morton JP. Regulation of Muscle Glycogen Metabolism during Exercise: Implications for Endurance Performance and Training Adaptations. *Nutrients.* mars 2018;10(3):298.
24. Galbo H, Holst JJ, Christensen NJ. The effect of different diets and of insulin on the hormonal response to prolonged exercise. *Acta Physiol Scand.* sept 1979;107(1):19-32.
25. Koivisto VA, Karonen SL, Nikkila EA. Carbohydrate ingestion before exercise: comparison of glucose, fructose, and sweet placebo. *J Appl Physiol.* 1 oct 1981;51(4):783-7.
26. Febbraio MA, Chiu A, Angus DJ, Arkinstall MJ, Hawley JA. Effects of carbohydrate ingestion before and during exercise on glucose kinetics and performance. *J Appl Physiol.* 1 déc 2000;89(6):2220-6.
27. Hawley JA, Stepto NK. Adaptations to training in endurance cyclists: implications for performance. *Sports Med Auckl NZ.* 2001;31(7):511-20.
28. Costill DL. Carbohydrates for exercise: dietary demands for optimal performance. *Int J Sports Med.* févr 1988;9(1):1-18.
29. Burke LM, Kiens B, Ivy JL. Carbohydrates and fat for training and recovery. *J Sports Sci.* janv 2004;22(1):15-30.
30. Burke LM, Collier GR, Davis PG, Fricker PA, Sanigorski AJ, Hargreaves M. Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the frequency of carbohydrate feedings. *Am J Clin Nutr.* 1 juill 1996;64(1):115-9.
31. Ivy JL, Goforth HW, Damon BM, McCauley TR, Parsons EC, Price TB. Early postexercise muscle glycogen recovery is enhanced with a carbohydrate-protein supplement. *J Appl Physiol.* 1 oct 2002;93(4):1337-44.
32. Jäger R, Kerksick CM, Campbell BI, Cribb PJ, Wells SD, Skwiat TM, et al. International Society of Sports Nutrition Position Stand: protein and exercise. *J Int Soc Sports Nutr.* déc 2017;14(1):20.
33. Bland A. Sports Nutrition - From Lab to Kitchen. [cité 20 févr 2022]; Disponible sur: [https://www.academia.edu/14860981/Sports\\_Nutrition\\_From\\_Lab\\_to\\_Kitchen](https://www.academia.edu/14860981/Sports_Nutrition_From_Lab_to_Kitchen)
34. Bartlett JD, Hawley JA, Morton JP. Carbohydrate availability and exercise training adaptation: too much of a good thing? *Eur J Sport Sci.* 2015;15(1):3-12.
35. Close GL, Hamilton DL, Philp A, Burke LM, Morton JP. New strategies in sport nutrition to increase exercise performance. *Free Radic Biol Med.* sept 2016;98:144-58.
36. Chos D, Riche D. Apports de sécurité en lipides chez le sportif à haut niveau d'entraînement. *Sci Sports.* avr 2005;20(2):74-82.
37. Helge JW, Richter EA, Kiens B. Interaction of training and diet on metabolism and endurance during exercise in man. *J Physiol.* 1 avr 1996;492(1):293-306.
38. Havemann L, West SJ, Goedecke JH, Macdonald IA, St Clair Gibson A, Noakes TD, et al. Fat adaptation followed by carbohydrate loading compromises high-intensity sprint performance. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. janv 2006;100(1):194-202.
39. Burke LM. Re-Examining High-Fat Diets for Sports Performance: Did We Call the 'Nail in the Coffin' Too Soon? *Sports Med.* nov 2015;45(S1):33-49.
40. Phillips SM, Van Loon LJC. Dietary protein for athletes: From requirements to optimum adaptation. *J Sports Sci.* janv 2011;29(sup1):S29-38.
41. Levenhagen DK, Gresham JD, Carlson MG, Maron DJ, Borel MJ, Flakoll PJ.

- Postexercise nutrient intake timing in humans is critical to recovery of leg glucose and protein homeostasis. *Am J Physiol-Endocrinol Metab.* juin 2001;280(6):E982-93.
42. Pennings B, Koopman R, Beelen M, Senden JM, Saris WH, van Loon LJ. Exercising before protein intake allows for greater use of dietary protein-derived amino acids for de novo muscle protein synthesis in both young and elderly men. *Am J Clin Nutr.* 1 févr 2011;93(2):322-31.
  43. Tarnopolsky M. Protein requirements for endurance athletes. *Nutrition.* juill 2004;20(7-8):662-8.
  44. Ingestion of whey hydrolysate, casein, or soy protein isolate: effects on mixed muscle protein synthesis at rest and following resistance exercise in young men [Internet]. [cité 9 févr 2022]. Disponible sur: <http://journals.physiology.org/doi/epdf/10.1152/jappphysiol.00076.2009>
  45. Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *J Acad Nutr Diet.* 1 mars 2016;116(3):501-28.
  46. Campbell WW, Barton ML, Cyr-Campbell D, Davey SL, Beard JL, Parise G, et al. Effects of an omnivorous diet compared with a lactoovo-vegetarian diet on resistance-training-induced changes in body composition and skeletal muscle in older men. *Am J Clin Nutr.* 1 déc 1999;70(6):1032-9.
  47. Hoffman JR, Ratamess NA, Kang J, Falvo MJ, Faigenbaum AD. Effects of protein supplementation on muscular performance and resting hormonal changes in college football players. :8.
  48. Hayes A. Effects of whey isolate, creatine and resistance training on muscle hypertrophy. [cité 25 sept 2021]; Disponible sur: [https://core.ac.uk/reader/10827063?utm\\_source=linkout](https://core.ac.uk/reader/10827063?utm_source=linkout)
  49. Cribb PJ, Williams AD, Hayes A. A Creatine-Protein-Carbohydrate Supplement Enhances Responses to Resistance Training. *Med Sci Sports Exerc.* nov 2007;39(11):1960-8.
  50. Candow DG, Burke NC, Smith-Palmer T, Burke DG. Effect of whey and soy protein supplementation combined with resistance training in young adults. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* juin 2006;16(3):233-44.
  51. Jeukendrup AE. Periodized Nutrition for Athletes. *Sports Med Auckl Nz.* 2017;47(Suppl 1):51-63.
  52. Tipton KD, Jeukendrup AE, Hespel P, International Association of Athletics Federations. Nutrition for the sprinter. *J Sports Sci.* 2007;25 Suppl 1:S5-15.
  53. Yeo WK, Paton CD, Garnham AP, Burke LM, Carey AL, Hawley JA. Skeletal muscle adaptation and performance responses to once a day versus twice every second day endurance training regimens. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. nov 2008;105(5):1462-70.
  54. Hulston CJ, Venables MC, Mann CH, Martin C, Philp A, Baar K, et al. Training with Low Muscle Glycogen Enhances Fat Metabolism in Well-Trained Cyclists. *Med Sci Sports Exerc.* nov 2010;42(11):2046-55.
  55. Régime paléo et microbiote intestinal : des changements inappropriés observés à long terme [Internet]. *Gut Microbiota for Health.* 2019 [cité 25 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.gutmicrobiotaforhealth.com/fr/regime-paleo-et-microbiote-intestinal-des-changements-inappropriés-observe-a-long-terme/>

**Titre :**

Importance de l'alimentation sur les performances sportives

**Résumé :** [2000 caractères maximum, espaces compris, soit 200 à 250 mots]

Tout athlète, qu'il soit amateur ou professionnel, souhaite améliorer ses performances. Cela passe bien évidemment par un entraînement adéquat mais également, par une alimentation la plus adaptée possible en fonction du sport pratiqué, de l'intensité, de la fréquence et bien d'autres paramètres. Cette thèse s'intéressera donc dans un premier temps à redéfinir les points cruciaux d'une bonne alimentation, à savoir les glucides, les lipides et les protéines ainsi que leurs répartitions pour une personne lambda. Ces éléments permettront de mieux comprendre le rôle que vont avoir ces nutriments sur la pratique sportive ainsi que les moyens d'optimiser l'alimentation pour améliorer les performances sportives selon que l'on soit en période d'entraînement ou en période de compétition. Enfin, il sera mis en avant les nouvelles stratégies alimentaires, étant donné que ce domaine est en constante évolution et que les recherches sur ce sujet se font de plus en plus nombreuses.

**Mots clés :** [3 minimum]

Sport, alimentation, performances sportives, stratégies nutritionnelles, entraînement, compétition, athlète de force, athlète d'endurance.

**Title :**

Importance of diet on sports performance

**Abstract :** [2000 characters maximum]

Every athlete, whether amateur or professional, wants to improve his performance. This obviously requires adequate training but also a diet that is as adapted as possible according to the sport practiced, the intensity, the frequency and many other parameters. This thesis will therefore focus initially on redefining the crucial points of a good diet, namely carbohydrates, lipids and proteins as well as their distribution for the average person. These elements will allow a better understanding of the role that these nutrients will have on sports practice as well as the means to optimize the diet to improve sports performance depending on whether one is in training or in competition. Finally, new dietary strategies will be highlighted, as this field is in constant evolution and research on this subject is becoming more and more numerous.