

UNIVERSITE DE LIMOGES

FACULTE DE PHARMACIE



ANNEE 2009

THESE N° 3342 1A

LES HABITUDES NUTRITIONNELLES DES CYCLISTES
AMATEURS

THESE
POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE

Présentée et soutenue publiquement le 7 décembre 2009.

PAR

Magali CHOUARCHE
Née le 26 Novembre 1984 à Vierzon (Cher)

SCD UNIV.LIMOGES



D 035 216223 2

EXAMINATEURS DE LA THESE

M. le Professeur Jean-Louis BENEYTOUT, Directeur de thèse
M. Francis COMBY, Maître de conférence, Doyen de la faculté
M. le Professeur Jean-Christophe DAVIET, CHU Limoges
M. Alain GLOMOT, Pharmacien

- Président
- Juge
- Juge
- Juge

LISTE DU CORPS ENSEIGNANT DE LA FACULTE DE PHARMACIE DE LIMOGES.

DOYEN DE LA FACULTE

Monsieur **COMBY** Francis, Maître de Conférences

VICE-DOYEN

Monsieur le Professeur **CARDOT** Philippe

VICE-DOYEN

Madame **FAGNERE** Catherine, Maître de Conférences

PROFESSEURS

BENEYTOU Jean-Louis

BIOCHIMIE – BIOLOGIE MOLECULAIRE

BOTINEAU Michel

BOTANIQUE ET CRYPTOLOGIE

BROSSARD Claude

PHARMACOTECHNIE

BUXERAUD Jacques

CHIMIE ORGANIQUE - CHIMIE THERAPEUTIQUE

CARDOT Philippe

CHIMIE ANALYTIQUE

CHULIA Albert

PHARMACOGNOSIE

CHULIA Dominique

PHARMACOTECHNIE

DELAGE Christiane

CHIMIE GENERALE ET MINERALE

DESMOULIERE Alexis

PHYSIOLOGIE

DREYFUSS Gilles

PARASITOLOGIE - MYCOLOGIE

DUROUX Jean-Luc

PHYSIQUE - BIOPHYSIQUE

LACHATRE Gérard

TOXICOLOGIE

MOESCH Christian

HYGIENE - HYDROLOGIE - ENVIRONNEMENT

LOUDARD Nicole

PHARMACOLOGIE

ROGEZ Sylvie

BACTERIOLOGIE - VIROLOGIE

MAITRES DE CONFERENCES

BASLY Jean-Philippe	CHIMIE ANALYTIQUE
BATTU Serge	CHIMIE ANALYTIQUE ET BROMATOLOGIE
BEAUBRUN GIRY Karine	PHARMACIE GALENIQUE
BILLET Fabrice	PHYSIOLOGIE
CALLISTE Claude	BIOPHYSIQUE, MATHEMATIQUES, INFORMATIQUE
CLEDAT Dominique	CHIMIE ANALYTIQUE
COMBY Francis	CHIMIE THERAPEUTIQUE
DELEBASSEE Sylvie	BACTERIOLOGIE - VIROLOGIE
DEMIOT Claire-Elise	PHARMACOLOGIE
DREYFUSS Marie-Françoise	CHIMIE ANALYTIQUE ET BROMATOLOGIE
FAGNERE Catherine	CHIMIE ORGANIQUE
FROISSARD Didier	BOTANIQUE ET CHRYPTOGAMIE
JAMBUT Anne-Catherine	CHIMIE THERAPEUTIQUE
LABROUSSE Pascal	BOTANIQUE ET CHRYPTOGAMIE
LEGER David	BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE
LIAGRE Bertrand	SCIENCES BIOLOGIQUES
LOTFI Hayat	TOXICOLOGIE
MARION-THORE Sandrine	CHIMIE THERAPEUTIQUE
MARRE-FOURNIER Françoise	BIOCHIMIE
MILLOT Marion	PHARMACOGNOSIE
MOREAU Jeanne	IMMUNOLOGIE
POUGET Christelle	CHIMIE ORGANIQUE APPLIQUEE A LA THERAPEUTIQUE
ROUSSEAU Annick	BIOMATHEMATIQUES
SIMON Alain	CHIMIE PHYSIQUE ET CHIMIE MINERALE
TROUILLAS Patrick	BIOMATHEMATIQUES ET INFORMATIQUE PHARMACEUTIQUE
VIANA Marylène	PHARMACOTECHNIE
VIGNOLES Philippe	BIOMATHEMATIQUES

PROFESSEUR CERTIFIE

MARBOUTY Jean-Michel	ANGLAIS
-----------------------------	---------

REMERCIEMENTS.

Je tiens avant tout à remercier Monsieur le Professeur Jean-Louis Beneytout de m'avoir fait l'honneur de diriger ma thèse. Merci pour tous les conseils et les enseignements que vous avez pu m'apporter ainsi que pour votre gentillesse et votre patience.

Merci à Monsieur le Doyen de la Faculté de Pharmacie de Limoges Francis Comby, le Professeur Jean-Christophe Daviet et Monsieur Alain Glomot, pharmacien, de m'avoir fait l'honneur d'accepter de faire partie du jury.

Merci à mes parents sans qui rien n'aurait été possible et pour toute l'aide qu'ils m'ont apportée. Merci de m'avoir toujours soutenue pendant toutes ces années et d'avoir été là pour moi dans les bons comme dans les mauvais moments.

Je tiens également à remercier mon frère Laurent, ma belle sœur Laure et mes nièces Léa et Manon pour leur soutien et leur implication.

Un grand merci à Gaëtan pour avoir su me soutenir durant toutes mes études. Merci d'avoir supporté mes humeurs et d'avoir su partager mes joies et mes peines.

Je remercie également toute ma famille qui a toujours été là pour moi.

Merci à tous mes amis et en particulier à Alice, Anaïs, Anne, Antoine, Antony, Delphine, Emmanuelle, Emeline, Florent, Jean-Charles, Laure, Maylis et Sandrine pour tous les moments de joie et de complicité que nous avons partagés durant nos études.

Merci à toutes les personnes qui m'ont apporté leur aide dans le cadre de mon enquête alimentaire.

Enfin, merci à tous les pharmaciens qui m'ont accueilli dans le cadre de mes stages et de mes emplois d'étudiant pour tout le savoir qu'ils ont pu me transmettre.

PLAN

INTRODUCTION.

PREMIERE PARTIE : Le métabolisme énergétique lors d'un exercice physique.

I. Les nutriments.

1. Les glucides.

1.1. Définition.

1.2. Classification.

1.2.1. Les monosaccharides.

1.2.2. Les oligosaccharides.

1.2.3. Les polysaccharides.

1.2.4. Les fibres.

1.3. Sucres rapides, sucres lents et index glycémique.

1.4. Source de glucides.

2. Les lipides.

2.1. Définition.

2.2. Classification.

2.2.1. Les lipides simples.

2.2.2. Les lipides complexes.

2.2.3. Les précurseurs des lipides et les lipides dérivés.

2.3. Source et teneur en lipides de certains aliments.

3. Les protéines.

3.1. Définition.

3.2. Composition et structure des protéines.

3.3. Sources et teneur en protéines de certains aliments.

II. Le métabolisme énergétique.

1. Digestion et absorption des nutriments.

1.1. Les glucides.

1.2. Les lipides.

1.3. Les protéines.

2. Le métabolisme anaérobie alactique.

3. Le métabolisme anaérobie lactique.

4. Le métabolisme aérobie.

4.1. Oxydation des glucides.

4.2. Utilisation du fructose.

4.3. Mise en réserve du glucose : la glycogénogenèse.

4.4. Contrôle de la glycémie.

4.5. L'oxydation lipidique.

4.6. Le métabolisme protéique.

III. Schéma de synthèse des différentes voies métaboliques.

DEUXIEME PARTIE : La nutrition du sportif.

I. Les dépenses énergétiques.

1. Le métabolisme de base.

1.1. Définition.

1.2. Valeurs moyennes du métabolisme de base.

1.3. Calcul du métabolisme de base.

1.4. Facteurs de variation du métabolisme de base.

2. La dépense énergétique.

3. Les autres dépenses énergétiques.

3.1. La thermorégulation.

3.2. La digestion.

3.3. Apport de diverses substances.

3.4. L'activité physique.

4. La dépense énergétique chez le sportif.

II. Besoins et apports nutritionnels conseillés (ANC) en nutriments.

1. Définition.

2. Apports nutritionnels conseillés (ANC) pour la population générale.

2.1. Les apports en énergie.

2.2. Les apports en glucides.

2.3. Les apports en fibres.

2.4. Les apports en protéines.

2.5. les apports en lipides.

2.6. Les apports en sels minéraux et les oligoéléments.

2.7. Les apports en vitamines.

2.7.1. La vitamine A.

2.7.1.1. Définition.

2.7.1.2. Sources.

2.7.1.3. Les besoins.

2.7.1.4. Rôles physiologiques de la vitamine A.

2.7.2. La vitamine B₉ ou acide folique.

2.7.2.1. Définition.

2.7.2.2. Sources.

2.7.2.3. Les besoins.

2.7.2.4. Rôles physiologiques de la vitamine B₉.

2.7.3. La vitamine C ou acide ascorbique.

2.7.3.1. Définition.

2.7.3.2. Sources.

2.7.3.3. Les besoins.

2.7.3.4. Rôles physiologiques de la vitamine C.

2.7.4. La vitamine D.

2.7.4.1. Définition.

2.7.4.2. Sources.

2.7.4.3. Les besoins.

2.7.4.4. Rôles physiologiques de la vitamine D.

2.7.5. La vitamine E.

2.7.5.1. Définition.

2.7.5.2. Sources.

2.7.5.3. Les besoins.

2.7.5.4. Rôles physiologiques de la vitamine E.

2.8. Les apports en eau.

3. Apports nutritionnels conseillés (ANC) pour les sportifs.

3.1. Les apports en glucides.

3.1.1. Importance des glucides à l'effort.

3.1.2. Stratégie alimentaire à l'effort.

3.1.2.1. Avant l'effort.

3.1.2.2. Pendant l'effort.

3.1.2.3. Après l'effort : la phase de récupération.

3.2. Les apports en lipides.

3.3. Les apports en protéines.

3.4. Les apports hydriques.

3.4.1. La thermorégulation et la déshydratation.

3.4.2. Les conséquences de la déshydratation.

3.4.3. Mécanisme de la réhydratation.

3.4.4. Formes d'hydratation au cours d'un exercice physique.

3.4.5. Détermination du niveau d'hydratation.

3.4.6. Hyperhydratation et glycérol.

3.5. Les apports en minéraux et oligoéléments.

3.5.1. Le sodium.

3.5.2. Le potassium.

3.5.3. Le magnésium.

3.5.4. Le calcium.

3.5.5. Le fer.

3.5.6. Le zinc.

3.5.7. Le cuivre.

3.5.8. Le chrome.

3.5.9. Le sélénium.

3.5.10. Le manganèse.

3.5.11. L'iode.

3.6. Les apports en vitamines.

III. Radicaux libres, stress oxydatif et sport.

1. Définition des radicaux libres et du stress oxydatif.
2. Les systèmes de dégradation des radicaux libres.
3. Sport et radicaux libres.
4. La supplémentation en antioxydants chez les sportifs.
 - 4.1. Les apports en vitamines antioxydantes.
 - 4.1.1. La vitamine E.
 - 4.1.2. La vitamine C.
 - 4.2. Les apports en oligoéléments antioxydants.
 - 4.2.1. Le zinc.
 - 4.2.2. Le cuivre.
 - 4.2.3. Le sélénium.
5. Conclusion sur les apports nutritionnels recommandés en vitamine et oligoéléments chez les sportifs.

TROISIEME PARTIE : Le sport et les compléments alimentaires.

I. Définition légale des compléments alimentaires.

II. Les substances autorisées.

III. Les substances interdites.

IV. Différences entre compléments alimentaires et médicaments.

V. Etiquetage des compléments alimentaires.

1. Définition d'une allégation.

2. Les allégations obligatoires.

3. Les allégations facultatives ou interdites.

VI. Les produits de l'endurance.

VII. Conclusion sur les produits de l'effort.

QUATRIEME PARTIE : Enquête sur les habitudes alimentaires des cyclistes amateurs.

I. Présentation du questionnaire.

II. Interprétation des résultats.

1. Présentation des groupes et de leurs habitudes alimentaires au quotidien
2. Rappel sur les conseils nutritionnels pour les sportifs.
3. Analyse de l'alimentation des groupes en vue d'une sortie de plus de trois heures.

CONCLUSION.

INTRODUCTION.

Pour beaucoup d'entre nous, le sport est un moyen d'évacuer le stress du quotidien. Parmi les nombreuses disciplines existantes, le cyclisme est l'un des plus pratiqué. Ce dernier est très populaire dans notre pays et très ancré dans notre culture, notamment grâce au Tour de France. Il peut être une activité quotidienne, un loisir ou une compétition.

En cyclisme, comme dans tous les sports, l'entraînement physique est indispensable pour améliorer ses performances. L'alimentation, lorsqu'elle est adaptée, peut être une aide utile. Elle devra répondre aux besoins de l'organisme pour éviter carences et fatigue. Dans le sport de haut niveau, les athlètes ont des nutritionnistes les aidant à adapter leur alimentation. Pour les cyclistes amateurs souhaitant optimiser leurs performances, il semble plus compliqué de faire appel à des spécialistes. Mais comme nous allons le voir par la suite, adapter son alimentation à l'effort lorsque l'on est amateur n'est pas aussi difficile que cela.

Le pharmacien peut être un conseiller de choix et il est toujours disponible pour aider les sportifs souhaitant améliorer leurs performances. Il pourra apporter des conseils nutritionnels et les aider à choisir les compléments alimentaires qui leur seront le plus adaptés.

Une enquête sur les habitudes alimentaires des cyclistes amateurs nous montre que pour ces sujets, il est assez facile d'adapter son alimentation en fonction des ses performances physiques.

**PREMIERE PARTIE : Le métabolisme
énergétique lors de l'exercice.**

Dès qu'un cycliste effectue une randonnée, quelle qu'en soit l'intensité, une certaine quantité d'énergie doit être libérée par son organisme. La libération de l'énergie ne s'effectue pas de la même façon selon le type d'effort effectué. Lors d'un sprint, une grande quantité d'énergie est nécessaire durant un temps très court, alors que pendant une sortie d'intensité modérée, l'énergie est libérée progressivement, ce qui permet de pouvoir rouler plusieurs heures. Dans les deux cas, l'exercice a pu s'effectuer grâce à la libération d'une certaine quantité d'énergie indispensable à la production du mouvement, mais de façon différente selon les cas.

Nous allons expliquer dans cette partie pourquoi après un effort court mais intense, il est encore possible de poursuivre un exercice physique alors qu'une grande quantité d'énergie a été dépensée. On pourrait supposer que les stocks d'énergie sont épuisés, mais notre organisme possède l'avantage de produire de l'énergie grâce à différents systèmes.

I. Les nutriments.

L'alimentation constitue le fondement de la production énergétique. Si on ne s'alimente pas, il est impossible de produire de l'énergie. Nous allons donc décrire dans ce paragraphe ce qui constitue la base du métabolisme énergétique, à savoir les macronutriments : les glucides, les lipides et les protéines.

1. Les glucides.

1.1. Définition.

Les glucides ou hydrates de carbone, plus communément appelés sucres, sont des polyalcools possédant une fonction aldéhyde ou cétone. Leur formule brute est : $(\text{CH}_2\text{O})_n$.

Ce sont les nutriments les plus fréquemment consommés. Ils ont un rôle essentiellement énergétique : ce sont les composés nécessaires à la synthèse du glucose, molécule indispensable au bon fonctionnement de nos cellules et source majeure d'énergie.

1.2. Classification. [12], [23], [26].

On peut classer les glucides en monosaccharides, oligosaccharides et polysaccharides qui sont assimilables par l'intestin. Les fibres font également partie des glucides, mais ne sont pas assimilables par l'intestin.

1.2.1. Les monosaccharides.

Les monosaccharides sont des glucides qui ne peuvent pas être hydrolysés. Ils comportent tous des atomes de carbone ainsi qu'une fonction aldéhyde ou une fonction cétone. Lorsque la molécule possède cinq atomes de carbone on parle de pentoses ; et lorsqu'elle en possède six, on parle d'hexoses. Les hexoses sont les molécules les plus abondantes dans la nature.

Les pentoses les plus fréquents sont le fucose, l'arabinose, le xylose et le ribose. Les hexoses les plus fréquents sont le glucose, le galactose, le mannose et le fructose. Ces composés sont directement assimilables par l'organisme.

1.2.2. Les oligosaccharides.

Les oligosaccharides sont constitués de deux à dix molécules d'oses reliées par une liaison glucosidique, appelée encore liaison glycosidique.

Lorsque les oligosaccharides contiennent deux molécules, on parle de disaccharides. Ils comprennent toujours une molécule de glucose associée à un autre ose qui peut être le fructose pour former le saccharose, le galactose pour former le lactose, ou bien le glucose pour former le maltose.

On distingue également les maltodextrines qui sont des dérivés de l'amidon obtenus par hydrolyse enzymatique ou chimique.

1.2.3. Les polysaccharides.

Les polysaccharides contiennent de dix à plusieurs milliers d'oses (le plus souvent le glucose) reliés entre eux par des liaisons glucosidiques.

Le plus représenté dans le règne végétal est l'amidon. Il est constitué d'amylose et d'amylopectine.

Dans le règne animal, la molécule majoritaire est le glycogène. C'est la molécule de réserve glucidique de l'organisme. Il possède une structure comparable à celle de l'amylopectine mais avec cependant plus de ramifications.

1.2.4. Les fibres.

Les fibres sont des polysaccharides non amylacés. Elles sont constituées de microfibrilles de cellulose, d'hémicellulose et de pectine.

Elles sont non digestibles par l'intestin et partiellement dégradées par les bactéries coliques. Elles ne possèdent aucun rôle énergétique.

On les classe en fibres solubles et insolubles.

➤ Les fibres solubles.

Les fibres solubles possèdent trois propriétés principales.

Tout d'abord, elles sont hydrosolubles : elles se transforment en un gel visqueux dans le tube digestif. Cette propriété influence le métabolisme des glucides et des lipides en diminuant leur biodisponibilité. Ce gel entraîne une moindre efficacité des enzymes digestives.

Leur deuxième propriété est d'être fermentescible : les bactéries coliques les transforment en acides gras volatiles à courte chaîne. Ces acides gras ont un rôle protecteur contre les cancers coliques, et renforcent également le système immunitaire intestinal.

Et enfin, les fibres solubles ont un pouvoir satiétogène car elles permettent de diminuer la vitesse de vidange gastrique et donnent une sensation de plénitude gastrique.

➤ Les fibres insolubles.

Elles possèdent également trois propriétés principales.

Elles ont un pouvoir régulateur du transit en l'accélération par stimulation du péristaltisme intestinal et de la force de contraction colique. Elles ont donc des vertus bénéfiques contre la constipation.

Elles ont également un pouvoir détoxifiant par accélération du transit intestinal, assurant ainsi un moindre temps de contact entre les toxiques et la muqueuse digestive et donc par conséquent une moindre absorption.

Enfin, elles ont une propriété métabolique par accélération du transit qui permet une diminution de l'absorption des glucides et des lipides.

1.3. Sucres rapides, sucres lents et index glycémique. [26].

Le terme de sucres rapides et de sucres lents a longtemps été utilisé. Désormais on parle d'index glycémique. Cet index permet de classer les aliments en fonction de leurs effets hyperglycémiques post-prandiaux par rapport à ceux d'un glucide de référence : soit le glucose soit l'amidon du pain blanc.

L'index glycémique correspond au rapport de l'aire sous la courbe de la glycémie pour l'aliment testé sur celle obtenue avec le glucide de référence. Les conditions de mesure et d'interprétation sont standardisées : la personne doit ingérer 50 g de glucides de l'aliment à évaluer, puis la glycémie est alors mesurée durant deux ou trois heures.

On a alors remarqué que l'index glycémique d'un aliment dépendait de sa composition en glucides simples et complexes. Le glucose possède un index élevé, le fructose un index bas et le saccharose un index intermédiaire. Les effets de l'amidon sur la glycémie dépendent essentiellement du rapport d'amylose et d'amylopectine présents dans l'aliment,

ce rapport étant fonction de l'origine botanique. En effet, plus la teneur en amylose est grande, plus l'index glycémique est bas. C'est en particulier le cas des céréales, tubercules et légumineuses.

Les fibres alimentaires visqueuses comme les pectines des fruits et des légumes permettent de diminuer l'effet hyperglycémiant des glucides car elles diminuent l'action des enzymes digestives. La présence de lipides dans l'aliment diminue également l'index glycémique.

La nature solide ou liquide des aliments modifie également l'index glycémique. Ainsi, pour un même aliment, l'index glycémique sera plus élevé s'il est sous forme liquide car l'aliment est plus facilement dégradé par les enzymes intestinales.

Plus l'index glycémique est bas, plus la vitesse de diffusion du glucose dans l'organisme est progressive, c'est-à-dire répartie dans le temps. Inversement plus ce chiffre est élevé, plus la glycémie augmente rapidement, pour retomber également très vite sous l'effet de l'insuline. Il semble donc que dans le cadre des sportifs, les aliments à index glycémique faible soient à privilégier car ils permettront d'apporter de l'énergie sur le long terme.

Tableau 1: Aliments et index glycémique. [38].

Niveau	Aliments	Index glycémique
Aliments à index glycémique élevé ≥ 70	Glucose	100
	Pommes de terre frites	95
	Miel	88
	Pain blanc	85
	Corn flakes	85
	Carotte cuite	85
	Saccharose	70
Aliments à index glycémique moyen entre 51 et 69	Banane	65
	Pomme de terre cuite dans sa peau (eau/vapeur)	65
	Riz blanc	60
	Spaghetti	55
Aliments à index glycémique faible ≤ 50	Riz complet	50
	Pâtes complètes	40
	Petit pois	40
	Orange	35
	Lait	30
	Haricots secs	30
	Lentilles	30
	Fructose	20

1.4.Sources de glucides.

Tableau 2 : Sources de glucides. [27].

Glucides	Origine	Structure et propriétés
<i>Monosaccharides</i>		
D-Glucose	Fruits, miel, traces dans la plupart des végétaux	Hexose hydrosoluble
D-Fructose	Fruits, miel, traces dans la plupart des végétaux	Pentose hydrosoluble
D-Galactose	Composant du lactose, libéré lors de la digestion	Hexose hydrosoluble
<i>Disaccharides</i>		
Saccharose	Betterave à sucre, canne à sucre, fruits, sirop d'érable	Disaccharide hydrosoluble composé de glucose et de fructose avec une liaison α -1,2
Lactose	Lait, produits laitiers	Disaccharide hydrosoluble composé de galactose et de glucose avec une liaison β -1,4
Maltose	Graine, provient de la digestion de l'amidon	Disaccharide hydrosoluble composé de glucose et de glucose avec une liaison α -1,4
<i>Polysaccharides</i>		
Amylose	Amidon, céréales, pommes de terre	Polymère linéaire du glucose avec des liaisons α -1,4 hydrosoluble
Amylopectine	Amidon, céréales, pommes de terre, épaississants	Polymère ramifié du glucose avec des liaisons α -1,4 et α -1,6
Glycogène	Foie, muscle	Polymère ramifié du glucose avec des liaisons α -1,4 et α -1,6
Inuline	Artichauts	Polymère de fructose, hydrosoluble

2. Les lipides.

2.1. Définition.

Comme les glucides, les lipides constituent un groupe hétérogène. Ils se caractérisent par le fait qu'ils sont insolubles dans l'eau et solubles dans les solvants organiques.

Ils tiennent une part importante dans notre organisme : on les trouve dans les tissus adipeux (qui sont une réserve en lipides servant de source d'énergie), dans le tissu nerveux, dans les membranes des cellules, dans les mitochondries ainsi que dans les lipoprotéines sériques.

Les lipides tiennent également une place importante dans notre alimentation car ils ont une grande valeur énergétique.

2.2. Classification. [32], [55].

2.2.1. Les lipides simples.

Ce sont des esters d'acides gras et de dérivés d'alcools.

On distingue :

- Les graisses. Ce sont des esters d'acides gras et du glycérol. On appelle huile une graisse qui se trouve à l'état liquide à température ordinaire.
- Les cires. Ce sont des esters d'acides gras et d'alcools monohydriques à poids moléculaire plus élevé.

2.2.2. Les lipides complexes.

Ce sont des esters d'acides gras contenant des acides gras, de l'alcool ainsi que d'autres molécules.

➤ Les phospholipides.

Ils sont composés d'acides gras, d'un alcool et d'un dérivé d'acide phosphorique. Très souvent ils possèdent des bases azotées.

On peut classer les phospholipides en :

- Glycérophospholipides quand l'alcool est le glycérol
- Sphingophospholipides quand l'alcool est la sphingosine.

Les phospholipides sont les principaux constituants lipidiques des membranes.

➤ Les glycosphingolipides ou glycolipides.

Ce sont des lipides constitués d'un acide gras, d'une molécule de sphingosine et d'un ou plusieurs sucres. Ils tiennent une place importante dans le tissu nerveux et dans les membranes cellulaires.

➤ Les autres lipides complexes.

On trouve les sulfolipides, les aminolipides et les lipoprotéines.

2.2.3. Les précurseurs des lipides et les lipides dérivés. [15].

➤ Les acides gras.

Les acides gras sont des acides carboxyliques aliphatiques, le plus souvent sous forme estérifiée. On les trouve dans les huiles et les graisses naturelles. On les classe selon le fait que leur chaîne contienne ou non des doubles liaisons : on parle d'acides gras saturés quand il n'y pas de doubles liaisons et d'acides gras insaturés quand ils possèdent une ou plusieurs doubles liaisons.

Les acides gras saturés ont pour formule générale : $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-\text{COOH}$. L'acide palmitique (C_{16}) et l'acide stéarique (C_{18}) sont les plus souvent rencontrés.

On classe les acides gras insaturés selon leur degré d'insaturation. Ainsi les acides monoinsaturés contiennent une double liaison et les acides polyinsaturés renferment au moins deux doubles liaisons.

L'acide oléique est l'acide gras monoinsaturé le plus fréquent.

Parmi les acides gras polyinsaturés, on trouve les acides linoléique ($\text{C}_{18} : 2 \omega 6$ ou $\text{C}_{18} : 2(n-6)$) et linolénique ($\text{C}_{18} : 3 \omega 3$ ou $\text{C}_{18} : 3(n-3)$) qui sont des acides gras indispensables car l'organisme ne peut pas les synthétiser. Ces dernières années on a beaucoup parlé des acides gras insaturés oméga-6 ($\omega-6$) et oméga-3 ($\omega-3$) pour leurs bienfaits sur la santé. L'acide linolénique est le précurseur de la famille des oméga-3 et l'acide linoléique est le précurseur de la famille des oméga-6. Les oméga-3 induisent une diminution de la pression artérielle chez les personnes hypertendues, une diminution de la quantité de triglycérides sanguins et préviennent donc le risque athérogène, et enfin chez les personnes ayant présenté des pathologies cardiovasculaires, ils permettent une réduction de la morbidité et de la mortalité cardiovasculaires. On les trouve dans les huiles végétales (noix, colza, soja, lin...) ainsi que dans les poissons gras (saumon, thon, maquereau, hareng, sardine et anchois).

La plupart des acides gras insaturés naturels possèdent des doubles liaisons *cis*. Cependant il existe également des acides gras insaturés avec des doubles liaisons *trans* : on parle d'acides gras *trans*. Certains sont présents de façon naturelle dans les produits laitiers, les viandes et les graisses de ruminants. Ils peuvent cependant provenir également de procédés industriels de transformation des huiles végétales : hydrogénation de ces huiles ou chauffage à haute température. Ceci permet aux graisses de passer de l'état liquide à l'état solide. Ils sont très souvent utilisés par l'industrie agroalimentaire en tant que stabilisateurs et conservateurs. On les trouve ainsi dans les viennoiseries, biscuits, pizzas... Lorsqu'on en consomme en trop grande quantité, ils provoquent une augmentation du LDL cholestérol (« le mauvais cholestérol ») et une baisse du HDL cholestérol (« le bon cholestérol »). Ils augmentent également le taux des triglycérides sanguins. Ils sont donc associés à une augmentation du risque athérogène et cardiovasculaire. De plus, après des consommations très élevées, ils favorisent l'apparition du diabète non insulino-dépendant (diabète de type 2).

Parmi les dérivés d'acides gras insaturés, on peut citer les eicosanoïdes, prostaglandines, prostacyclines, thromboxanes et leucotriènes qui dérivent de l'acide arachidonique.

Les triglycérides sont la principale forme de réserve des acides gras. Ils sont formés d'une molécule de glycérol sur laquelle sont fixées trois molécules d'acides gras.

➤ Les stéroïdes.

Nous ne citerons ici que le cholestérol et l'ergostérol.

Le cholestérol est une molécule très importante pour notre organisme. Tout d'abord c'est un précurseur d'autres stéroïdes également très importants : les hormones des corticosurrénales, hormones sexuelles, la vitamine D, les glucosides cardiotoniques, les acides biliaires. Il se trouve en quantité importante dans le tissu nerveux, il est un des principaux constituants des membranes plasmiques et des lipoprotéines. Cependant, s'il se trouve en trop grande quantité dans l'organisme, il devient alors très athérogène. On ne le trouve que dans les graisses animales.

L'ergostérol est un des précurseurs de la vitamine D. Celle-ci facilite l'absorption de calcium par l'intestin, ainsi que la réabsorption du calcium et du phosphore par les reins. Elle

est également indispensable à la bonne construction de l'os car elle permet de fixer le calcium sur ce dernier.

2.3. Source et teneur en lipides de certains aliments. [20].

Les sources de lipides au sein de notre alimentation sont variées : viandes, poissons, œufs, pâtisseries, huiles...

Tableau 3 : Teneur en lipides en grammes pour 100 g d'aliments. [67].

Aliments	Lipides totaux	Acides gras saturés	Acides gras monoinsaturés	Acides gras polyinsaturés
Poulet rôti	6	1,8	2,9	1,2
Steak de bœuf grillé	4	1,7	1,9	0,16
Gigot d'agneau rôti	14	6,4	5,7	0,85
Saumon à la vapeur	11	2	3,8	3,7
Sardines à l'huile	14	2,8	4,7	4,9
Hareng fumé	14	2,8	4,1	4,4
Cabillaud à la vapeur	1	0,2	0,14	0,4
Saucisson sec	35	12,9	15,5	4,2
Rillettes	42	16	18,1	4,9
Lait entier	3,5	2,1	1,1	0,12
Lait demi-écrémé	1,6	0,95	0,48	0,05
Emmental	29	17,3	8,9	1
Camembert à 45 % de matières grasses	22	13,8	6,4	0,64
Mayonnaise (huile de soja)	78	11,6	22,3	40,6
Mayonnaise allégée	39	5,1	7,5	21,9
Chips	36	11,5	11,5	11,5
Chocolat	30	17,8	9,6	0,9
Noix	64	5,2	11,6	44,2

3. Les protéines.

3.1. Définition. [24], [27].

Les protéines, qui peuvent être d'origine animale ou végétale, sont des macromolécules constituées de chaînes d'acides aminés de longueurs variables. Ces acides aminés sont reliés par des liaisons peptidiques dans un ordre déterminé par le code génétique.

Les protéines représentent pour l'homme la seule source d'azote utilisable ainsi que la troisième source énergétique. Elles sont le constituant majeur du tissu musculaire.

Les protéines ont plusieurs rôles dans notre organisme. Il y a les protéines de structures qui permettent la stabilité mécanique des organes et tissus. Le tiers des protéines de structure est représenté par le collagène. Il y a également des protéines de transport qui permettent de transporter des substances dans le plasma, les cellules ainsi qu'à travers les membranes cellulaires. Elles jouent également un rôle très important dans l'immunité via les immunoglobulines, ou encore dans la coagulation sanguine. Certaines hormones et leurs récepteurs sont des protéines indispensables à notre organisme. Enfin, les enzymes jouent un rôle clé puisque sans elles, aucun processus métabolique ne serait possible.

3.2. Composition et structure des protéines. [62], [66], [68].

Les protéines sont constituées d'acides aminés reliés entre eux par des liaisons peptidiques.

Il existe vingt acides aminés protéinogènes. On peut les classer en acide aminé essentiel, partiellement essentiel et non essentiel. Les acides aminés essentiels sont : la valine, la leucine, le tryptophane, l'isoleucine, la phénylalanine, la thréonine, la méthionine et la lysine que l'on ne peut pas synthétiser. Les partiellement essentiels sont la cystéine, la tyrosine, la sérine, la glutamine, l'arginine et l'histidine. Enfin, les non essentiels sont l'alanine, la proline, l'asparagine, la glycine, l'acide asparginique et l'acide glutamique.

L'ordre des acides aminés correspond à la structure primaire des protéines. La structure secondaire correspond à la conformation que prend la chaîne d'acides aminés. Ceci est dû à la formation de liaisons hydrogènes entre les extrémités C = O et NH de deux liaisons peptidiques différentes. Il existe deux conformations principales : une forme en feuillet plissé β , et une en hélice α . La structure tertiaire correspond à l'organisation dans l'espace de la chaîne pliée grâce aux interactions entre les chaînes latérales des acides aminés. Enfin, la structure quaternaire provient essentiellement de l'association de plusieurs structures monomériques.

3.3. Sources et teneur en protéines de certains aliments. [3], [4].

Les protéines sont présentes dans les viandes, poissons, produits laitiers, œufs et les légumes secs.

Tableau 4 : Teneur en protéines en grammes pour 100 g d'aliments. [67].

Aliments	Quantité de protéines
Steak grillé	28
Côtelette de porc	23
Côte de porc	28
Cuisse de poulet	26
Jambon cuit	18
Jambon cru	26
Foie	24
Cabillaud	18
Poisson pané	15
Crevettes	21
Huître	9
Omelette nature	15
Blanc d'œuf	11
Gruyère	30
Camembert	21
Comté	29
Chèvre sec	28
Chèvre frais	5
Yaourt entier	4
Fromage blanc	8
Lait écrémé en poudre	35

II. Le métabolisme énergétique.

La dégradation des aliments ne libère que peu d'énergie. C'est pourquoi ils ne sont pas utilisés directement pour fournir de l'énergie aux muscles. Ils doivent être transformés en une molécule très énergétique : l'ATP (Adénosine Tri-Phosphate). Son hydrolyse permet de fournir l'énergie nécessaire à la contraction musculaire.

Les réserves en ATP sont faibles. Par conséquent, pour que le muscle puisse se contracter en continuité, l'ATP doit être reconstitué au fur et à mesure qu'il est hydrolysé. Cela est possible grâce aux différentes filières énergétiques.

Il existe les filières anaérobie alactique, anaérobie lactique et aérobie. La première filière intervient dès le début de l'exercice physique. Mais ce système est vite débordé. Alors pour maintenir la production d'ATP nécessaire à la poursuite de l'effort, intervient le système anaérobie lactique, encore appelé la glycolyse anaérobie. Au fur et à mesure que l'exercice se poursuit, le système aérobie prend de plus en plus d'importance. On observe l'oxydation des glucides et des lipides. Enfin, si l'effort se poursuit sur une très longue durée (plusieurs heures), l'oxydation des protéines intervient.

1. Digestion et absorption des nutriments.

Ces étapes sont indispensables et constituent une étape préalable au métabolisme énergétique.

1.1. Les glucides. [27].

Les glucides alimentaires sont essentiellement composés de polysaccharides (tels que l'amidon et le glycogène) et de disaccharides (saccharose et lactose). On trouve également des monosaccharides tels que le glucose et le fructose.

Pour être absorbables, les polysaccharides et les disaccharides devront subir l'hydrolyse de leurs liaisons osidiques par des enzymes que l'on appelle osidases. Ces enzymes sont présentes dans les sucs digestifs ainsi que dans la muqueuse intestinale. Les

enzymes des microorganismes de la flore intestinale jouent également un rôle dans la digestion.

L'hydrolyse de l'amidon et du glycogène se fait grâce à une α -amylase salivaire et pancréatique. L'action de ces enzymes permet d'aboutir à la formation de maltose et de glucose. La cellulose (polysaccharide végétal) n'est pas digérée par l'intestin car notre organisme ne synthétise pas les β -amylases. Elles ne sont présentes que dans les microorganismes de la flore intestinale colique.

Les disaccharides, qu'ils proviennent de l'hydrolyse des polysaccharides ou de l'alimentation (comme le saccharose par exemple) vont également subir une hydrolyse via des disaccharidases intestinales. Les réactions s'effectuent au niveau des cellules de la bordure en brosse de la muqueuse intestinale.

On peut distinguer plusieurs enzymes en fonction du substrat :

➤ Enzymes

➤ Substrats

Maltase

Maltose

α -amylase

Amidon, maltodextrines, maltose

Saccharase

Saccharose, maltose

Isomaltase

Isomaltose, maltose

Lactase

Lactose

L'action de ces enzymes permet d'aboutir à la formation de glucose, de galactose et de fructose.

Ces molécules vont alors pouvoir être absorbées par les cellules épithéliales en fonction de l'ose considéré. Le glucose et le galactose vont être absorbés selon un mécanisme actif, c'est-à-dire qu'ils vont être transportés contre un gradient de concentration via un processus actif faisant intervenir les ions sodium ainsi que l'ATP. Le fructose quant à lui va être absorbé dans la lumière intestinale selon un processus passif par simple diffusion ou bien par processus actif mettant en jeu des molécules d'ATP.

Une fois l'absorption intestinale effectuée, ces oses vont être transportés, via la voie sanguine, soit au niveau de différents tissus pour servir de substrats énergétiques, soit ils seront mis en réserve au niveau des muscles et du foie.

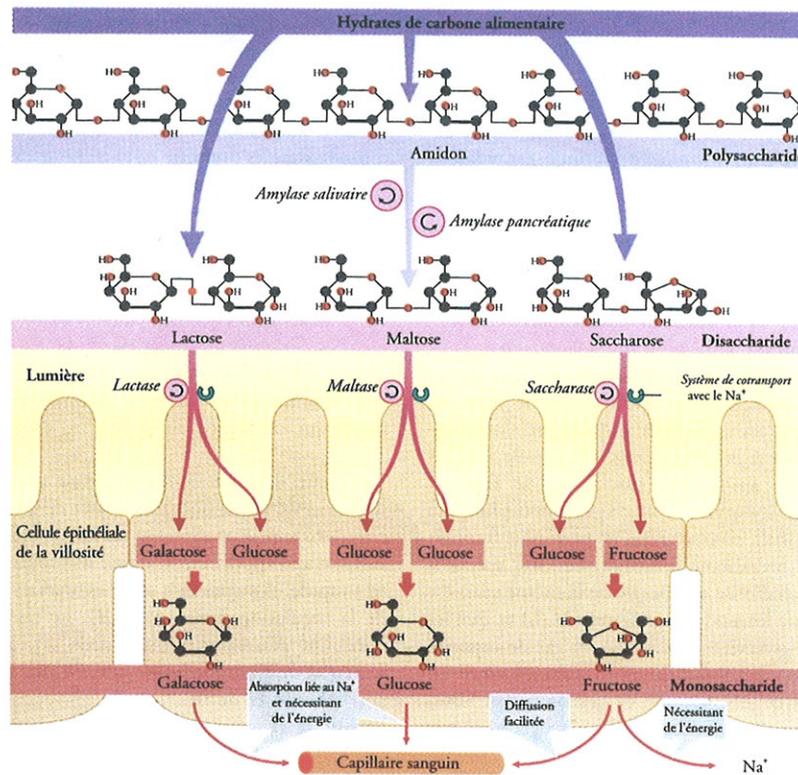


Figure 1: Digestion et absorption des glucides. [27].

1.2. Les lipides. [27], [32].

Les triglycérides et les acides gras C18 et C16 tiennent une place très importante dans l'alimentation humaine. Les graisses ingérées contiennent toujours d'autres substances lipidiques telles que les phospholipides, du cholestérol ou ses esters, ainsi que des vitamines liposolubles.

Au niveau gastrique une lipase, agissant à pH acide, fractionne de façon préférentielle les acides gras à courte chaîne provenant des triglycérides par exemple des graisses du lait. Il existe également une lipase gastrique spécifique des acides à courtes et moyennes chaînes.

La motricité gastrique permet une bonne mise en contact entre les graisses et les enzymes, de plus cela permet de diminuer le volume des particules graisseuses. Les acides gras libérés au niveau gastrique, après la destruction des liaisons en C1 et C3 du glycérol, vont pouvoir être directement absorbés par la muqueuse gastrique.

Puis l'émulsion de graisses parvient dans le duodénum. Ici il y a l'action de la lipase pancréatique (contenue dans le suc pancréatique) et de la bile. La bile a pour rôle d'émulsifier les lipides grâce à la propriété amphiphile des acides biliaires. Elle permet aussi la lipolyse des triglycérides en créant un potentiel de surface négatif sur les graisses : la colipase peut alors se lier aux triglycérides. Une estérase cholestérolique permet d'hydrolyser le cholestérol estérifié. Enfin, les phospholipase A₁ et A₂ hydrolysent les phospholipides au niveau des carbones C1 et C2. L'ensemble de ces hydrolyses réduit de façon progressive la taille des particules de graisse, jusqu'à la formation de micelles via les acides biliaires.

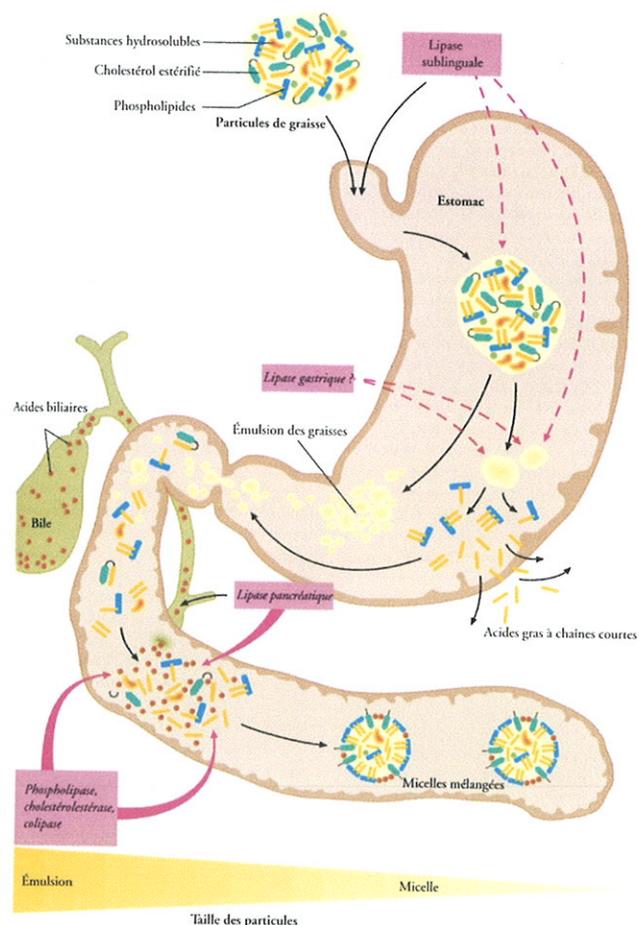


Figure 2 : Digestion des lipides. [27].

Les micelles formées précédemment parviennent au niveau de la bordure en brosse de l'intestin. Elles pénètrent de façon passive dans les cellules. Les acides biliaires, indispensables pour l'absorption des lipides, sont réabsorbés en partie par la partie basse de l'intestin grêle et reviennent au foie via la veine porte : on parle alors de cycle entérohépatique des acides biliaires.

L'absorption finale des lipides permet la formation de lipoprotéines qui seront relarguées sous forme de chylomicrons dans le système lymphatique.

1.3. Les protéines. [27].

Dans l'estomac, la pepsine permet de rompre les liaisons peptidiques dans lesquelles sont impliquées la phénylalanine et la tyrosine. Celle-ci devient active grâce à l'acidité de l'estomac.

Au niveau du duodénum ce sont les endo- et les carboxypeptidases pancréatiques qui permettent la scission des peptides à longue chaîne en peptides de plus petite taille et en acides aminés. Il y a également la trypsine, qui elle participe à l'hydrolyse des liaisons peptidiques auxquels participent l'arginine et la lysine. La chymotrypsine quant à elle hydrolyse les liaisons dans lesquelles interviennent les acides aminés aromatiques. Enfin, il y a l'élastase qui elle s'attaque aux acides aminés neutres et aliphatiques.

Pour finir, les amino- et les dipeptidases de la bordure en brosse permettent la formation d'acides aminés libres, de di- et tripeptides qui pourront alors être absorbés.

L'absorption des acides aminés et des petits peptides dans les entérocytes s'effectue de façon active grâce à des protéines de transport, puis ils seront libérés dans la circulation.

Les acides aminés libres sont absorbés par un cotransport avec du sodium. Les di- et tripeptides vont être transportés de façon active via un gradient de protons dans le cytoplasme. Puis ils y seront hydrolysés en acides aminés pour être déversés dans la veine porte et ceci grâce à des aminopeptidases (tripeptides) ainsi que des dipeptidases et des proline-dipeptidases (dipeptides).

2. Le métabolisme anaérobie alactique. [62], [68].

Il existe dans les muscles un petit stock d'ATP. L'hydrolyse de ces molécules permet les premières contractions musculaires. Une ATPase permet de libérer l'énergie contenue dans la molécule par rupture des liaisons entre les deux derniers phosphates, donnant ainsi de l'ADP (Adénosine Di-Phosphate) et du phosphate inorganique.

Le stock d'ATP chutant rapidement, une première voie métabolique va entrer en jeu. C'est le système ATP-Créatine Phosphate. On observe la lyse d'une molécule hautement énergétique : la créatine phosphate. Une enzyme, la créatine phosphorylase, libère le phosphate de la créatine ce qui permet de libérer l'énergie. Cette énergie est alors utilisée pour reformer l'ATP. Ce système permet de produire un ATP par molécule de phosphocréatine.

Cette filière ne nécessite pas d'apport en oxygène, d'où son appellation de métabolisme anaérobie.

Cependant, elle ne peut produire de l'énergie que pendant quelques secondes du fait du faible stock de créatine phosphate. Le maintien de la contraction musculaire requiert le relais par d'autres voies métaboliques.

3. Le métabolisme anaérobie lactique. [27], [57], [62].

La production d'ATP est possible à partir de la dégradation du glucose sanguin par hydrolyse, via les enzymes glycolytiques, sans apport d'oxygène (d'où l'appellation de glycolyse anaérobie).

Le glucose peut provenir de la digestion des glucides alimentaires et de la dégradation du glycogène musculaire et hépatique (glycogénolyse).

Le glycogène, qui est un polymère ramifié de l' α -D-glucose, est la principale forme de réserve en glucides chez les animaux et donc chez l'être humain. On le trouve dans le foie

(jusqu'à 6%) ainsi que dans les muscles (rarement plus de 1%). Néanmoins, à cause de sa masse plus grande, le muscle forme une réserve en glycogène trois à quatre fois plus grande que celle du foie.

Le glycogène musculaire est une source d'énergie rapidement disponible. Le glycogène hépatique est d'avantage utilisé pour le stockage et l'exportation de glucose pour le maintien de la glycémie entre les repas. Cependant, après douze à dix huit heures de jeûne, les réserves hépatiques sont pratiquement toutes épuisées. Le glycogène musculaire, quant à lui, disparaît de façon importante après un exercice physique intense et prolongé.

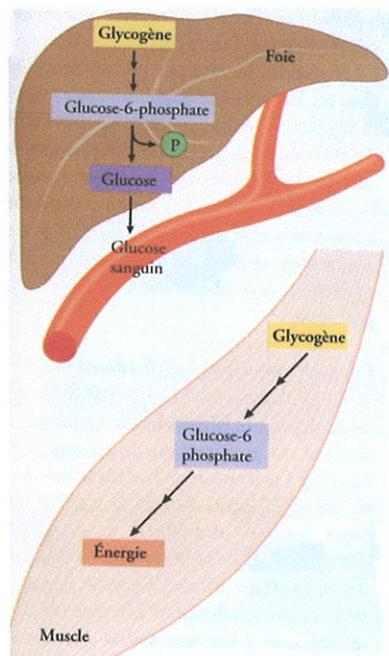


Figure 3 : Glycogène hépatique et musculaire. [27].

La dégradation du glycogène, ou glycogénolyse, est une voie d'apport en glucose pour la glycolyse. Cette réaction est catalysée par une phosphorylase. La réaction est la suivante : $[\text{glucose}]_n + P_i + \text{phosphorylase} \rightarrow [\text{glucose}]_{n-1} + \text{glucose-1-phosphate}$. Les unités de glucose sont détachées par rupture de la liaison α -1,4 glucosidique à l'extrémité non réductrice de la chaîne. C'est la dernière unité de glucose incorporée dans le polymère qui est détachée la première. Ceci s'effectue jusqu'à ce qu'il ne reste environ que quatre résidus de glucose sur la chaîne latérale. Une glucan-transférerase permet le transfert de trois restes glucose sur l'extrémité non réductrice de la chaîne principale. Le reste glucose lié par une

liaison α -1,6 est ensuite libéré par une enzyme débranchante spécifique : l'amylo-1,6 glucosidase.

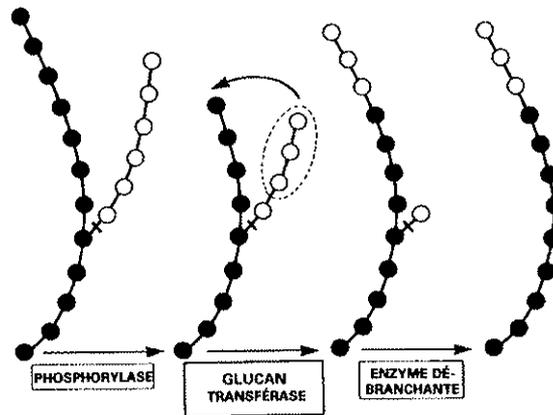


Figure 4 : Etapes de la glycogénolyse. [57].

Les actions combinées de la phosphorylase et des autres enzymes permettent la dégradation complète du glycogène.

Le glucose-1-phosphate ainsi formé est transformé en glucose-6-phosphate grâce à une phosphoglucomutase.

Dans le foie et dans les reins, il existe la glucose-6-phosphatase qui permet d'enlever le phosphate du glucose-6-phosphate permettant ainsi la formation de glucose libre qui pourra diffuser de la cellule vers le sang augmentant ainsi la glycémie. Dans le muscle, le glucose-6-phosphate est dégradé par la glycolyse fournissant ainsi l'énergie nécessaire à la contraction.

Le glucose peut également provenir de la gluconéogenèse. La gluconéogenèse regroupe l'ensemble des réactions permettant la conversion des substances non glucidiques en glucose. Les principaux substrats de la néoglucogenèse sont les acides aminés glucoformateurs, l'acide pyruvique, l'acide lactique et le glycérol. L'ensemble des réactions s'effectue dans le foie et les reins.

La gluconéogenèse permet de fournir du glucose à l'organisme lorsque les glucides alimentaires deviennent insuffisants. Un maintien de la glycémie à un taux suffisant est indispensable au bon fonctionnement du système nerveux ainsi qu'aux érythrocytes. De plus,

le glucose est le seul combustible qui puisse fournir de l'énergie aux muscles dans des conditions anaérobies. Enfin, la gluconéogenèse permet également de transférer le lactate produit par les muscles à l'exercice. Le lactate passe dans le sang, est capté par le foie et est transformé en glucose par la gluconéogenèse.

Avant de fournir de l'énergie, le glucose et le glycogène doivent être transformés en glucose-6-phosphate. Pour arriver à ce composé, le glucose a besoin d'une molécule d'ATP. Le glycogène quant à lui se transforme tout d'abord en glucose-1-phosphate puis se dégrade en glucose-6-phosphate sans apport d'ATP.

La glycolyse anaérobie débute avec le glucose-6-phosphate et se termine avec la formation d'acide pyruvique. Le devenir de ce composé va dépendre de la nature de l'exercice, à savoir s'il est effectué ou non en aérobie. Si l'exercice est effectué sans apport d'oxygène, l'acide pyruvique est dégradé en acide lactique. Au total, douze réactions enzymatiques qui se déroulent dans le cytoplasme cellulaire sont nécessaires. Ainsi, trois molécules d'ATP sont produites pour une molécule de glycogène hydrolysée soit un gain de deux ATP pour une molécule de glucose.

La glycolyse anaérobie ne fournit que peu d'ATP mais elle a l'avantage d'être disponible rapidement (dans les premières secondes de l'effort musculaire). L'inconvénient est qu'il y a production d'acide lactique. L'augmentation de la concentration de ce dernier altère progressivement le fonctionnement enzymatique de la glycolyse. L'acide lactique produit est responsable de la douleur lors des crampes.

4. Le métabolisme aérobie.

Il permet de fournir de l'énergie à partir de l'apport d'oxygène. L'effort physique doit alors être produit en aérobie. Ce métabolisme est réalisé au sein des mitochondries.

Par rapport au système anaérobie, le système aérobie possède un rendement énergétique très important. C'est le principal système permettant de fournir de l'énergie pour les efforts d'endurance.

La production d'ATP se fera à partir de l'oxydation des glucides (glycogène hépatique et musculaire, glucose), des lipides (triglycérides) et si nécessaire, des protéines.

4.1. Oxydation des glucides. [52], [54].

Pour délivrer de l'ATP, les glucides devront subir la glycolyse qui est couplée au cycle de Krebs, et à la chaîne de transport des électrons qui permet la phosphorylation oxydative mitochondriale.

Après la glycolyse, l'apport en oxygène va permettre de dégrader l'acide pyruvique en acétyl-Coenzyme A. Ce composé entre dans le cycle de Krebs pour y être complètement oxydé et dégradé en carbone et hydrogène.

Suite à cette oxydation, deux molécules d'ATP sont formées. Le carbone se combine à l'oxygène pour former du dioxyde de carbone qui sera directement transporté vers les poumons pour être rejeté à l'expiration.

La glycolyse et le cycle de Krebs produisent une quantité importante d'hydrogène. L'élimination de l'hydrogène est réalisée grâce à la chaîne de transport d'électrons qui est couplée au cycle de Krebs. Ce processus a pour but d'éviter une acidification trop importante du milieu cellulaire. Les molécules d'hydrogène sont transportées grâce à deux coenzymes : le NAD^+ (nicotinamide adénine dinucléotide) et le FAD^+ (flavine adénine dinucléotide) vers la chaîne de transport qui les divise en protons et électrons. Les protons se combinent avec les molécules d'oxygène pour former des molécules d'eau. L'eau ainsi formée empêche l'acidification du milieu cellulaire. Les électrons quant à eux vont aller sur la chaîne de transport des électrons. Après une série de réactions au sein de la chaîne et la phosphorylation de l'ADP en ATP, trente neuf molécules d'ATP seront formées par molécule de glycogène et trente huit par molécule de glucose.

4.2. Utilisation du fructose. [60].

Le fructose est souvent utilisé par les sportifs car il n'a aucune influence sur la sécrétion d'insuline. Son ingestion n'entraîne donc pas d'hypoglycémie rebond qui pourrait causer une chute.

Deux voies permettent l'incorporation du fructose dans la glycolyse. Tout d'abord une voie mineure à partir du tissu adipeux qui consiste en la phosphorylation du fructose en fructose-6-phosphate. La voie majeure hépatique s'effectue en plusieurs étapes. Cela commence par la phosphorylation du fructose en fructose-1-phosphate et se termine par la formation de phospho-3-glyceraldéhyde. Ces deux molécules étant des intermédiaires de la glycolyse, elles peuvent alors intégrer la glycolyse.

4.3. Mise en réserve du glucose : la glycogénogenèse. [57].

Le glucose alimentaire excédentaire va être stocké dans le foie et les muscles sous forme de glycogène.

Tout d'abord, le glucose est phosphorylé en glucose-6-phosphate. Cette réaction est commune à la première étape de la glycolyse. Dans un second temps, le glucose-6-phosphate est transformé en glucose-1-phosphate. Puis après certaines réactions biochimiques mettant en jeu une glycogène synthétase, le glycogène est ainsi formé.

4.4. Contrôle de la glycémie. [27], [53].

Lors d'un exercice intense ou modéré, la glycémie doit être maintenue constante. Pour cela, l'organisme fait appel à des mécanismes métaboliques et hormonaux.

Les cellules hépatiques laissent passer librement le glucose alors que les cellules extrahépatiques (sauf les îlots pancréatiques) en laissent passer peu. La glycémie joue un rôle important quant au contrôle du taux d'entrée du glucose dans les tissus, qu'ils soient hépatiques ou non. La glucokinase (enzyme qui transforme le glucose en glucose-6-

phosphate) extrahépatique est inhibée par le glucose-6-phosphate. Il y a donc un rétrocontrôle négatif. Par contre, la glucokinase hépatique n'est pas soumise à cette régulation. Ainsi, quand la glycémie dépasse les valeurs physiologiques, l'activité de la glucokinase augmente ce qui a pour effet de faire pénétrer le glucose dans le foie (et non dans les autres organes ou dans les muscles) dans le but de faire diminuer la glycémie. En fait, à des valeurs normales de glycémie ou inférieures à la normale, le foie produit du glucose et à l'inverse, lorsque la glycémie augmente, le foie laisse pénétrer du glucose dans ses cellules pour le stocker sous forme de glycogène.

L'insuline tient une place très importante dans la régulation de la glycémie. Cette hormone est produite par les cellules β des îlots de Langerhans du pancréas lors d'une hyperglycémie. Elle permet la pénétration du glucose dans les cellules à partir du sang, surtout celles du tissu adipeux et musculaire. C'est donc une hormone hypoglycémiante et sa concentration sanguine varie avec celle du glucose. La sécrétion d'insuline est activée par des substances telles que les acides aminés, les acides gras libres, les corps cétoniques. Elle est au contraire inactivée par l'adrénaline et la noradrénaline.

Le glucagon quant à lui est produit par les cellules α des îlots de Langerhans du pancréas. Sa sécrétion est stimulée par l'hypoglycémie. Il active la phosphorylase ce qui provoque la glycogénolyse hépatique et la sortie de glucose du foie vers la circulation sanguine. Il active également la gluconéogenèse. En conséquence, le glucagon a un effet inverse à celui de l'insuline : il est hyperglycémiant.

Les hormones de l'antéhypophyse jouent également un rôle important dans la régulation de la glycémie. L'hormone de croissance, l'hormone adrénocorticotrope ou ACTH sont hyperglycémiantes.

Il en est de même des hormones cortico-surréaliennes, les glucocorticoïdes, qui sont également hyperglycémiantes du fait qu'elles augmentent la gluconéogenèse à partir des acides aminés par augmentation du catabolisme des protéines. De plus les glucocorticoïdes inhibent l'utilisation du glucose par le foie. L'adrénaline, qui est une hormone médullo-surrénalienne produite en situation de stress, engendre la glycogénolyse hépatique et musculaire par stimulation de la phosphorylase. Elle est par conséquent elle aussi hyperglycémiante.

4.5. L'oxydation lipidique. [58].

Parmi les lipides, seuls les triglycérides permettent de fournir de l'énergie. La majeure partie des triglycérides est stockée dans le tissu adipeux, le muscle et le foie.

Pour être utilisable comme source d'énergie, les triglycérides doivent être transformés. Une lipase va les transformer en glycérol et trois molécules d'acides gras libres.

Dans le sang, les acides gras à longue chaîne sont transportés par l'albumine, alors que les acides gras à chaîne plus courte sont plus hydrosolubles : on les trouve donc sous forme non ionisée ou sous forme d'anion gras.

Le processus d'oxydation des acides gras libres permettant de fournir de l'énergie se nomme la β -oxydation. Les acides gras libres vont être dégradés par des enzymes au sein des mitochondries.

Avant d'être catabolisés, les acides gras doivent être activés en présence d'ATP et de Coenzyme A via l'acyl-CoenzymeA synthétase. Une seconde enzyme, la pyrophosphatase inorganique, permet l'activation complète des acides gras.

Pour pénétrer dans les mitochondries, les acides gras à longue chaîne doivent être transformés en une forme dérivée de la carnitine. Tout d'abord, la carnitine palmitoyl-transférase I présente dans la membrane externe mitochondriale transforme les radicaux acyles à longue chaîne en acylcarnitines. Ceux-ci pénètrent alors dans la mitochondrie. Puis, la carnitine-acylcarnitine translocase se comporte comme un transporteur au niveau de la membrane interne de la mitochondrie. Chaque acylcarnitine réagit alors avec une molécule de CoenzymeA via la carnitine palmitoyl-transférase II pour former de l'acyl-CoenzymeA.

La β -oxydation va alors pouvoir s'effectuer dans la matrice mitochondriale grâce à des oxydases, et ce près de la chaîne respiratoire.

La β -oxydation aboutit à la formation d'acétyl-Coenzyme A qui entre ensuite dans le cycle de Krebs pour y subir les mêmes dégradations que les glucides.

Enfin, tout comme pour les hydrates de carbone, la chaîne de transport des électrons effectue les mêmes processus pour fournir de l'ATP.

Le métabolisme énergétique des lipides fournit d'avantage d'énergie que celui du glucose car la quantité d'acétyl-Coenzyme A issue du métabolisme lipidique est plus importante que celle issue du métabolisme glucidique. Au total, la β -oxydation permet de fournir 129 ATP par molécule d'acide palmitique dégradé.

4.6. Le métabolisme protéique. [65].

Malgré l'utilisation préférentielle des glucides et des acides gras pour les exercices d'endurance, les protéines par l'intermédiaire des acides aminés, sont également utilisées.

Après avoir subi une désamination, les acides aminés peuvent être convertis en glucose (gluconéogenèse) ou en intermédiaire du métabolisme oxydatif comme l'acide pyruvique et l'acétyl-Coenzyme A.

Tableau 5. Acides aminés pouvant entrer dans le cycle de Krebs après désamination. [65].

Acides aminés	Molécules correspondantes
Alanine, cystéine, glycine, hydroxyproline, sérine, thréonine	Pyruvate
Isoleucine, leucine, tryptophane	Acétyl-CoA
Leucine, lysine, phénylalanine, tryptophane, tyrosine	Acétoacétyl-CoA
Arginine, histidine, glutamine, proline	Glutamate
Isoleucine, méthionine, valine	Succinyl-CoA
Tyrosine, phénylalanine	Furamate
Asparagine	Aspartate

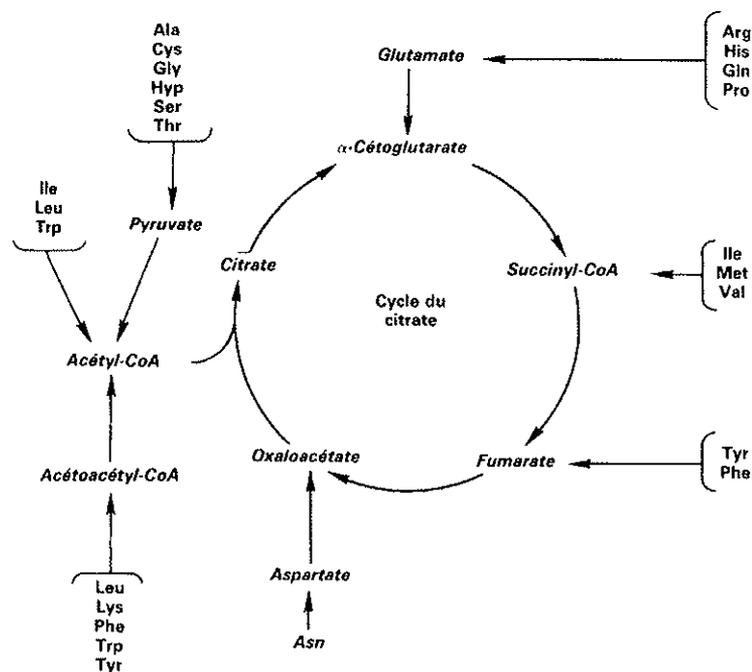


Figure 5 : Relations entre acides aminés et le cycle du citrate (cycle de Krebs). [65].

Le catabolisme des acides aminés libère de l'azote sous forme d'ammoniac. Cette molécule est très toxique pour l'organisme. Une partie servira à former de nouveaux acides aminés et l'autre sera éliminée sous forme d'urée ou d'ions ammonium dans les urines.

III. Schéma de synthèse des différentes voies métaboliques. [47], [59].

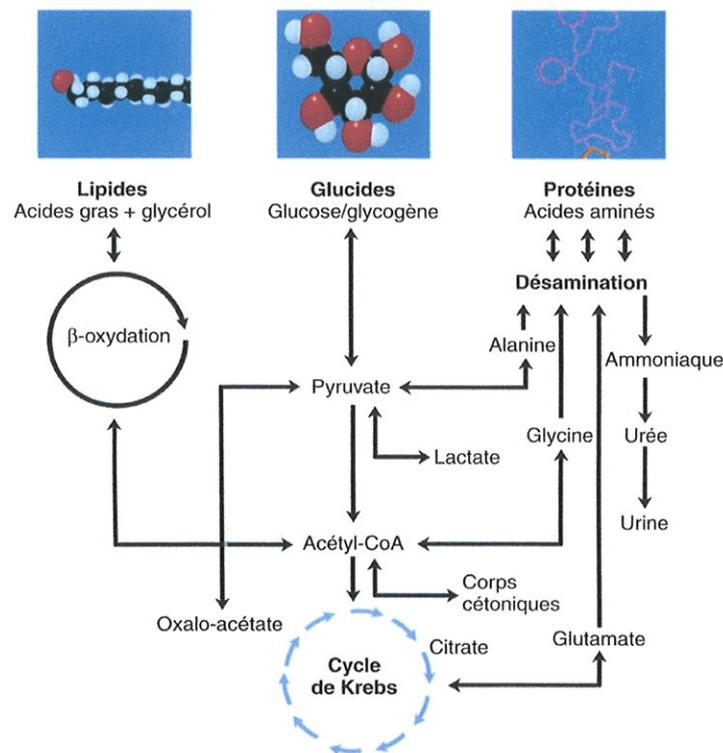


Figure 6 : Les différentes interconversions importantes existant entre les glucides, les lipides et les protéines. [47].

Comme nous le montre le schéma ci-dessus, la synthèse énergétique durant l'exercice fait appel à une synergie des voies aérobies et anaérobies associées au passage progressif des métabolismes glucidique, lipidique et protéique.

Le cycle de Krebs représente le lien indispensable entre les aliments et l'énergie. Il joue également un rôle important de carrefour métabolique entre les lipides, les glucides et les protéines.

DEUXIEME PARTIE : La nutrition du sportif.

I. Les dépenses énergétiques. [31], [34], [37].

La dépense énergétique d'une personne est constituée de quatre facteurs : le métabolisme de base et de repos, la thermogénèse et l'activité physique.

1. Le métabolisme de base.

1.1. Définition.

Le métabolisme de base correspond à la dépense énergétique de fond rapportée à la surface corporelle de la personne. Il s'exprime en kilocalories par heure et par kilogramme (kcal/h/kg). La dépense énergétique de fond quant à elle se définit par l'énergie dépensée par un individu au repos, à jeun depuis au moins 12 heures et placé dans une enceinte en condition de neutralité thermique.

Le métabolisme de base est directement lié à la quantité de masse maigre de l'individu. En effet, plus la masse maigre de l'individu est importante, plus le nombre de calories dépensées par jour est important.

La surface corporelle tient également une place importante. Plus elle est élevée plus les pertes de chaleur au niveau de la peau seront importantes. Ceci a pour conséquence d'augmenter le métabolisme de base car la quantité d'énergie à fournir pour maintenir le corps à bonne température est alors plus élevée.

Le métabolisme de base est minimal entre 3 et 5 heures du matin, juste avant le réveil. Il correspond au travail cardiaque, respiratoire et sécrétoire mais également au tonus musculaire et à l'activité cellulaire.

Le métabolisme basal est une référence à partir de laquelle on peut estimer la dépense d'énergie totale.

1.2. Valeurs moyennes du métabolisme de base.

Chez la femme elle correspond à $0,95 \text{ kcal.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ ce qui équivaut à 1300 kcal.j^{-1} .

Chez l'homme elle correspond à $1 \text{ kcal.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ soit 1600 kcal.j^{-1} .

1.3. Calcul du métabolisme de base.

Le calcul se fait en fonction du sexe, du poids, de la taille et de l'âge grâce à la formule de Harrys et Benedict (1919).

- Chez la femme : $MB = 695 + 9,56 \times P + 1,85 \times T - 4,68 \times A$
- Chez l'homme : $MB = 66,4 + 13,75 \times P + 5 \times T - 6,75 \times A$

Dans ces équations le métabolisme de base (MB) s'exprime en kilocalories, la taille (T) en mètres, le poids (P) en kilogrammes et l'âge (A) en années.

1.4. Facteurs de variation du métabolisme de base.

La valeur du métabolisme de base dépend :

- de l'âge. Le métabolisme de base augmente pendant la croissance pour ensuite diminuer en vieillissant.
- du sexe. Le métabolisme de base est plus élevé chez l'homme. Ceci est essentiellement dû à la différence de masse maigre : en effet la masse maigre a une proportion plus élevée chez l'homme.
- d'états physiologiques particuliers. Le métabolisme de base augmente pendant la puberté. Chez la femme, il augmente lors de la grossesse et l'allaitement et diminue à la ménopause.
- de l'anxiété.

- de l'état physiologique sur le plan hormonal. En effet il augmente en cas d'hyperthyroïdie et diminue à l'inverse en cas d'hypothyroïdie. Les catécholamines tiennent une place importante : leur sécrétion de façon importante entraîne tachycardie, hyperventilation et une augmentation du tonus musculaire ce qui a pour conséquence d'augmenter le métabolisme de base.
- de la température extérieure. Le métabolisme de base est inversement proportionnel à la température ambiante.

2. La dépense énergétique de repos.

Elle correspond à la dépense énergétique de base à laquelle on ajoute l'énergie dépensée due au réveil et à l'effet thermique des aliments. Elle est de 10 % supérieure au métabolisme de base.

3. Les autres dépenses énergétiques.

En dehors du métabolisme de base, l'organisme a besoin d'énergie pour effectuer diverses fonctions.

3.1. La thermorégulation.

La thermorégulation est la propriété qui permet à l'organisme de maintenir sa température interne constante.

Le refroidissement du corps entraîne une diminution des fonctions végétatives et par conséquent un ralentissement du métabolisme. En fait, une hausse de 1°C augmente le métabolisme de 10 %. Ainsi, pour une température de 40°C, le métabolisme est augmenté de 33 %.

Il existe un moyen inconscient d'augmenter la production de chaleur lorsque nous avons froid : c'est le frisson thermique. C'est une réaction physiologique de thermorégulation qui consiste en une contraction musculaire généralisée. Il entraîne une dépense énergétique de $250 \text{ kcal.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$.

3.2.La digestion.

La digestion des aliments entraîne une dépense énergétique, c'est ce que l'on appelle l'action dynamique spécifique des aliments ou encore la thermogenèse alimentaire. Par exemple, l'ingestion de 25 g de protéines provoque une dépense énergétique de 30 kcal dans les 5 à 6 heures qui suivent. Ceci provient de diverses réactions nécessaires pour convertir les aliments en éléments simples assimilables.

L'effet thermique des aliments va dépendre de la nature des nutriments à assimiler. Pour les glucides, l'organisme va dépenser 5 à 10 % de la valeur énergétique du glucide ingéré. Pour les lipides, l'effet thermique égale 1,4 à 4,6 % de la valeur énergétique du lipide à assimiler. Et pour les protéines, l'effet thermique représente 20 à 30 % de la valeur calorique ingérée.

3.3.Apport de diverses substances. [36].

L'ingestion de certaines substances telles que la caféine ou la nicotine augmente les dépenses énergétiques.

La caféine est une xanthine à propriété stimulante centrale, spasmodolytique, diurétique et qui favorise la contraction des muscles striés. Elle stimule les centres bulbaires, respiratoires, vasomoteurs, cardiomodérateurs, les centres spinaux cardioaccélérateurs et augmente l'excitabilité des systèmes réflexes médullaires. Elle permet également de diminuer la sensation de fatigue, de lutter contre la somnolence et favorise le travail intellectuel. Au niveau cardiaque, elle a une action chronotrope et inotrope positive par libération des cathécolamines.

La nicotine, quant à elle, est un stimulant central. Elle provoque polypnée et hypertension artérielle après une phase hypotensive et bradycardisante. Elle possède également une action sur les fibres musculaires en provoquant leur contraction, ainsi qu'une action hyperglycémiant.

Ces molécules « stressent » l'organisme par la libération de cathécolamines, augmentant ainsi les dépenses énergétiques.

3.4.L'activité physique.

L'activité physique provoque des dépenses énergétiques supplémentaires qui sont variables suivant le type de travail et sa durée. L'activité musculaire constitue la première source de cette dépense énergétique.

Il est cependant important de noter que l'activité intellectuelle n'engendre aucune dépense énergétique.

La dépense énergétique totale due à l'exercice physique augmente de façon quasi linéaire avec la durée de l'exercice.

4. La dépense énergétique chez le sportif.

Comme nous l'avons dit précédemment, la dépense énergétique liée à l'activité sportive dépend du type d'exercice ainsi que de sa durée. Ainsi, on peut observer une dépense énergétique supplémentaire allant de 500 à 1000 kcal/h en moyenne. Cependant, pour les efforts intenses et exténuants, on observe des dépenses de l'ordre de 750 à 1500 kcal/h. Ceci correspond pour un marathon à une dépense de 2500 à 3000 kcal en plus et pour les étapes les plus dures du Tour de France à 6500 kcal.

Pour les sportifs pratiquant un sport d'endurance tel que le vélo par exemple, les dépenses énergétiques journalières sont très élevées. Ceci s'explique par les dépenses

engendrées par l'exercice lui-même mais également par le fait que de pratiquer un sport régulièrement augmente le métabolisme de base.

Au vu des importantes dépenses énergétiques qu'engendre un sport d'endurance, un problème semble d'ores et déjà se poser : une alimentation classique, conseillée à l'ensemble de la population, suffit-elle à compenser les pertes engendrées par un exercice physique d'endurance ?

L'énergie nécessaire à l'effort musculaire est produite par différentes filières énergétiques qui mettent en jeu différents substrats. On peut distinguer deux types de filières : les filières anaérobies et les filières aérobies. Il est important de connaître les filières énergétiques mises en jeu lors de différents efforts physiques car c'est en fonction des substrats utilisés que l'on pourra estimer les besoins et donc adapter l'alimentation.

Parmi le système anaérobie, on a vu qu'il existait deux filières. La première est celle du système ATP - Créatine Phosphate. La libération d'énergie s'effectue grâce à la créatine phosphatase qui libère le phosphate inorganique de la créatine. Le phosphore ainsi libéré sert à former une molécule d'ATP grâce à une molécule d'ADP. Ceci est un moyen pour les cellules de lutter contre la déplétion en ATP. Cette filière permet de fournir de l'énergie dans une durée limitée : six à dix secondes. Elle s'active lors des efforts courts et de forte intensité comme par exemple un sprint. Cette voie utilise donc l'ATP et les réserves en créatine du corps pour fournir une force dite explosive. Cependant les réserves en créatine phosphate sont limitées. Alors dans un second temps, pour palier aux besoins en énergie dans ce type d'effort, une seconde voie s'active : la voie de la glycolyse anaérobie, encore appelée la voie de l'acide lactique. Cette voie permet une production plus importante d'énergie que précédemment mais pour une durée encore limitée : deux minutes. Ce système implique la glycolyse. L'énergie est fournie par la dégradation du glucose et du glycogène musculaire. Cependant ici, on utilise la voie anaérobie ce qui implique deux choses : tout d'abord la production d'ATP se limite à trois molécules d'ATP par molécule de glycogène et deux molécules d'ATP par molécule de glucose. Dans un second temps, comme l'oxygène n'intervient pas, l'acide pyruvique, formé lors de la glycolyse, est transformé en acide lactique ce qui augmente l'acidité musculaire et donc diminue les capacités de contraction musculaire. De plus, le glycogène musculaire s'épuise très vite, ce qui provoque une diminution des capacités de production d'énergie. Ce système énergétique ne produit pas de

grandes quantités d'énergie mais les actions combinées des systèmes ATP-créatine phosphate et glycolytique permettent aux muscles de produire des forces très importantes, même lorsque l'apport en oxygène est limité. Ces deux systèmes agissent donc de façon prédominante dans les toutes premières minutes d'efforts physiques, surtout s'il est intense. Les systèmes anaérobies ne s'activent pas uniquement lors des efforts type sprint. Ils s'activent également pendant les instants les plus intensifs des efforts de longue durée et d'endurance comme par exemple un marathon ou une course de vélo ce qui explique en partie pourquoi les réserves en glycogènes s'épuisent rapidement.

Pour les efforts de longue durée, le système aérobie doit être mis en jeu. Il y a une oxydation complète des glucides (glycogène musculaire et glucose provenant de la circulation sanguine). On observe également une oxydation des lipides.

Enfin, pour les efforts intenses et de très longue durée, il y a utilisation des protéines musculaires. Celles-ci sont transformées en acides aminés afin d'alimenter la néoglucogenèse.

Au vue des paragraphes précédents, il paraît important que l'alimentation puisse reconstituer les réserves en glycogène musculaire car il intervient dans toutes les filières énergétiques.

II. Besoins et apports nutritionnels conseillés (ANC) en nutriments.

1. Définition. [11].

Les ANC correspondent à une quantité d'énergie ou de nutriments suffisants pour couvrir les besoins nets tout en considérant les quantités réellement absorbées. Les besoins nets correspondent à la quantité de nutriments utilisés après l'absorption intestinale permettant la constitution et le maintien des réserves.

Les ANC pour la population générale correspondent à une marge de sécurité de 130% des besoins nutritionnels moyens et ce pour couvrir les besoins de 97.5 % de la population. Ils prennent également en compte la constitution des réserves car les ANC sont calculés sur la base des besoins nets.

Les ANC représentent plus des conseils que des règles à suivre pour équilibrer son alimentation. Si les ANC sont atteints, ils garantissent l'équilibre nutritionnel, néanmoins, le fait de ne pas les atteindre ne veut pas forcément dire qu'il y aura une malnutrition ou des carences.

2. Apports nutritionnels conseillés (ANC) pour la population générale. [10], [14], [67].

2.1. Les apports en énergie.

Les besoins énergétiques d'un individu sont définis comme étant « la quantité d'énergie nécessaire pour compenser les dépenses et assurer une taille et une composition corporelle compatibles avec le maintien à long terme d'une bonne santé et d'une activité physique adaptée au contexte économique et social » (Organisation Mondiale de la Santé, 1996).

Comme nous l'avons vu précédemment, la quantité de calories nécessaires quotidiennement à un adulte dépend du sexe, de l'âge, de la taille, du poids et du niveau d'activité physique.

Pour un homme adulte, l'apport en énergie conseillé est en moyenne de 2400 à 2600 kcal selon l'activité physique. Pour une femme, on estime qu'il est de 1800 à 2200 kcal.

Tableau 6 : Besoins énergétiques des adultes selon le sexe, l'âge et le niveau d'activité physique exprimés en kcal. [67].

Homme				Femme			
Age	Sédentaire *	Modérément actif *	Actif *	Age	Sédentaire*	Modérément actif *	Actif *
18	2400	2800	3200	18	1800	2000	2400
19-20	2600	2800	3000	19-20	2000	2200	2400
21-25	2400	2800	3000	21-25	2000	2200	2400
26-30	2400	2600	3000	26-30	1800	2000	2400
31-35	2400	2600	3000	31-35	1800	2000	2200
36-40	2400	2600	2800	36-40	1800	2000	2200
41-45	2200	2600	2800	41-45	1800	2000	2200
46-50	2200	2400	2800	46-50	1800	2000	2200
51-55	2200	2400	2800	51-55	1600	1800	2200
56-60	2200	2400	2600	56-60	1600	1800	2200
61-65	2000	2400	2600	61-65	1600	1800	2000
66-70	2000	2200	2600	66-70	1600	1800	2000
71-75	2000	2200	2600	71-75	1600	1800	2000
Après 76 ans	2000	2200	2400	Après 76 ans	1600	1800	2000

* Sédentaire : moins de 30 minutes par jour d'activité physique soutenue en plus des activités quotidiennes.

* Modérément actif : entre 30 et 60 minutes par jour d'activité physique soutenue en plus des activités quotidiennes.

* Actif : plus de 60 minutes par jour d'activité physique soutenue en plus des activités quotidiennes.

Tableau 7 : Apports énergétiques conseillés pour la population française, estimation en fonction du niveau moyen d'activité usuelle. [10].

Sexe	Age (ans)	Poids (kg)	ANC en énergie (kcal)
Hommes	20 – 40	70	2700
Femmes	20 – 40	60	2200
Hommes	41 - 60	70	2500
Femmes	41 - 60	60	2000
Hommes ou femmes	61 – 75 *		36 par kg de poids corporel

* pour les personnes de plus de 80 ans, il n'existe pas de données permettant de faire de recommandations.

2.2. Les apports en glucides.

Les glucides représentent la plus grande source d'énergie. Un gramme de glucides alimentaires fournit quatre kilocalories. Dans un gramme de glucides, 70 % des calories sont utilisées par l'organisme.

Notre organisme possède 300 à 400 g de réserves glucidiques sous forme de glycogène. Ces réserves se trouvent pour deux tiers dans les muscles et le reste dans le foie.

Les apports en glucides doivent représenter 55 % de l'apport énergétique journalier total. Ceci correspond à 250 g. En réalité, un apport de 50 % est tout à fait satisfaisant.

2.3. Les apports en fibres.

Il existe deux types de fibres selon leur réaction à l'eau, après une étape de gonflement, soit elles peuvent se dissoudre, on parle alors de fibres solubles, soit elles restent insolubles, on parle alors de fibres insolubles. Les fibres solubles jouent un rôle important de prévention contre certaines maladies comme que le diabète de type deux ou

l'hypercholestérolémie. On les trouve dans les fruits et légumes. Les fibres insolubles quant à elles procurent une sensation de satiété et luttent contre la constipation. On les trouve principalement dans les produits céréaliers et les légumes à feuilles.

Les apports nutritionnels conseillés sont de l'ordre de 30 g par jour dont une majorité issue des céréales.

2.4. Les apports en protéines.

Les protéines tiennent un rôle particulier dans l'organisme. Elles sont présentes dans toutes nos cellules et sont très abondantes dans nos muscles. Elles peuvent jouer différents rôles : de structure, de transport, d'enzyme, d'hormones... Les protéines représentent 20 % du poids du corps.

Un gramme de protéines alimentaires fournit quatre kilocalories dont 30 % sont directement utilisables par l'organisme. Dans des conditions normales, les protéines ne servent pas à fournir de l'énergie. Cependant, lors des efforts longs et intenses ou lorsque que les réserves glucidiques et lipidiques sont épuisées, certaines protéines peuvent être hydrolysées en acides aminés qui serviront à fournir de l'énergie. Cette voie doit rester exceptionnelle, surtout chez les sportifs car la masse musculaire diminuera et par conséquent leur force également.

Les protéines doivent représenter 15 % de l'apport énergétique journalier total. Chez une personne sédentaire cela représente environ 0,8 g de protéines par kilo de poids et par jour. Pour une personne âgée, les apports conseillés sont à un gramme de protéine par kilo de poids et par jour.

2.5. Les apports en lipides.

Tout comme les glucides, les lipides représentent une source d'énergie. Ils sont également utilisés pour le bon fonctionnement des cellules et surtout les cellules nerveuses, pour la synthèse des hormones, l'absorption, le transport et le stockage de certaines vitamines, la lutte contre le froid.

Un gramme de lipides alimentaires fournit neuf kilocalories, et environ 90 % d'entre elles sont directement utilisables par l'organisme. Les réserves adipeuses sont très variables selon les individus, et 1 kg de graisse accumulée correspond à environ 8000 kcal de réserve.

Les apports en lipides doivent représenter 35 % de l'apport énergétique journalier total, ce qui correspond à une quantité de 65 à 80 g.

Toutes les graisses ne sont pas bonnes pour l'organisme. Ainsi, les acides gras saturés favorisent les dépôts de cholestérol dans les artères et augmentent le risque de maladies cardiovasculaires. Ils sont présents essentiellement dans les graisses d'origines animales telles que le beurre, la crème fraîche, le fromage. Par contre, ils ne sont pas présents dans les graisses issues des poissons. Les pâtisseries et la charcuterie sont une source importante d'acides gras saturés.

Les acides gras polyinsaturés (plus communément appelé oméga-3 et oméga-6) sont beaucoup plus bénéfiques pour la santé puisqu'ils ont tendance à protéger des maladies cardiovasculaires. On les trouve dans les graisses d'origines végétales (et les végétaux de façon plus générale) ainsi que dans les poissons dits gras (sardine, hareng, thon, saumon...). Ils devraient représenter l'essentiel des apports journaliers en lipides.

Quand aux acides gras trans qui sont issus de l'industrie agroalimentaire, leur consommation excessive favorise le dépôt de plaque d'athérome dans les artères ce qui engendre donc des problèmes cardiovasculaires. Leur consommation doit représenter moins de 2 % des graisses ingérées.

2.6. Les apports en sels minéraux et les oligoéléments.

Les composés minéraux représentent 4 à 5 % du poids du corps. Ce sont des composés indispensables à notre organisme puisqu'ils participent à de nombreuses réactions vitales. On parle de sels minéraux quand ils sont présents en grande quantité dans notre organisme. Les principaux sont le sodium, le potassium, le magnésium, le calcium, le chlore, le phosphore et le soufre. On parle d'oligoéléments quand ces composés ne sont présents qu'en quantité dite infinitésimale. Il existe des oligoéléments essentiels tels que le chrome, le fer, le fluor, l'iode, le cobalt, le cuivre, le manganèse, le molybdène, le nickel, le sélénium, le

vanadium, le zinc et l'étain. Les autres sont l'aluminium, l'arsenic, le baryum, le brome, le silicium, l'argent, le titane, le plomb, le cadmium et le mercure.

Les besoins en sels minéraux et en oligoéléments sont très variables d'un individu à l'autre. Ils dépendent de l'âge, du sexe et des habitudes de vie (sport, tabagisme, régime alimentaire). On considère qu'une alimentation riche et équilibrée suffit à couvrir les besoins en ces composés. Il faut faire attention car un excès d'apport peut être nocif voir dans certains cas dangereux avec des risques de rétention hydrique ou d'hypertension artérielle.

2.7. Les apports en vitamines.

Les vitamines sont elles aussi indispensables à notre organisme : elles participent à de nombreuses réactions chimiques. Notre corps n'est pas capable de les synthétiser, nous sommes donc obligés de les apporter via notre alimentation.

2.7.1. La vitamine A. [7], [16], [50], [67].

2.7.1.1. Définition.

On appelle vitamine A tout composé naturel possédant des caractéristiques biologiques similaires à celles du rétinol. Le rétinol est le principal précurseur de la vitamine A active.

La vitamine A se présente, dans l'organisme, sous la forme de rétinol, de rétinal (dans la rétine), d'acide rétinoïque (dans les os et les muqueuses) ou de palmitate de rétinyle (réserves stockées dans le foie). C'est dans la rétine qu'on l'a isolée la première fois, d'où le nom de « rétinol ». Certains caroténoïdes (pigments végétaux) possèdent une activité vitaminique A comme par exemple le β -carotène.

Du fait de sa structure, le rétinol est soluble dans les solvants organiques et est insoluble dans l'eau ou tout milieu hydrophile. La vitamine A est sensible à l'oxydation et à la lumière. Elle est cependant stable à la chaleur.

C'est une molécule très oxydable. Par action enzymatique, il y a formation de rétinol puis d'acide rétinoïque. Ces deux molécules interviennent dans la différenciation cellulaire. Le rétinol est également facilement isomérisable en rétinol-11-cis (molécule importante de la vision), ainsi qu'en acide rétinoïque 9-cis et en acide rétinoïque 13-cis.

2.7.1.2. Sources.

L'apport alimentaire de vitamine A se fait sous forme de rétinol et de ses dérivés ainsi que sous forme de caroténoïdes provitaminiques.

On trouve principalement le rétinol et ses dérivés dans les produits d'origine animale, en particulier dans le foie de poissons et d'animaux d'élevage. Les caroténoïdes provitaminiques se trouvent principalement dans les produits d'origine végétale comme les carottes par exemple. Mais les produits laitiers, les œufs et le beurre constituent la majeure partie des apports.

2.7.1.3. Les besoins.

Les apports conseillés sont exprimés en $\mu\text{g ER/jour}$. L'ER correspond à l'équivalent rétinol qui se définit de la façon suivante : 6 μg de β carotène ont la même activité vitaminique que 1 μg de rétinol soit 1 $\mu\text{g ER}$.

Chez les adolescents de 16 à 19 ans et les hommes adultes, on recommande 800 $\mu\text{g ER/jour}$. Par contre chez les femmes de la même population, les recommandations sont de 600 $\mu\text{g ER/jour}$.

2.7.1.4. Rôles physiologiques de la vitamine A.

La vitamine A possède un rôle très important dans différents domaines : la vision, la synthèse de glycoprotéines, la reproduction, la différenciation cellulaire et l'immunité.

- La vision

C'est un dérivé du rétinol qui intervient dans la vision crépusculaire dans laquelle interviennent les bâtonnets et la rhodopsine qu'ils contiennent. Cette protéine possède un cofacteur : le 11-cis rétinol. Une lumière de faible intensité sur la rhodopsine provoque une isomérisation cis-trans du rétinol provoquant ainsi une modification du chromophore pour aboutir à une hyperpolarisation des bâtonnets. La variation de potentiel stimule les fibres nerveuses de la rétine ce qui permet la transmission de l'influx nerveux au système nerveux central pour construire l'image visuelle.

Le rétinol, grâce à son rôle dans la synthèse des glycoprotéines dans les cellules caliciformes, permet de maintenir l'intégrité de la cornée.

- Synthèse des glycoprotéines

Le rétinol permet l'incorporation du mannose dans les glycoprotéines après phosphorylation du rétinol et sa transformation en mannosylrétinylphosphate. Cette molécule est un donneur de mannose. Elle est indispensable pour la synthèse hépatique de l' α 1-macroglobuline, la fibronectine, les glycoprotéines des cellules de Sertoli et des cellules caliciformes.

- La reproduction

Le rétinol est indispensable autant chez la femme que chez l'homme. Chez la femme il intervient dans la croissance et le développement du fœtus et chez l'homme il participe à la spermatogenèse.

- La différenciation cellulaire

Les dérivés d'oxydation du rétinol (les acides rétinoïques tout-trans, 13-cis ou 9-cis), en agissant au niveau de la transcription des gènes, modulent la prolifération des cellules et leur fonctionnalité et favorisent l'expression des marqueurs génétiques spécifiques des lignées cellulaires. Ainsi, ces molécules permettent le renouvellement des tissus (peau, muqueuse intestinale), la croissance du fœtus et de l'enfant, l'inhibition des cellules tumorales et la maturation des cellules myéloïdes.

- L'immunité

La vitamine A permet de stimuler l'immunité en favorisant la prolifération des lymphocytes et thymocytes ainsi que la synthèse des immunoglobulines par les lymphocytes B.

2.7.2. La vitamine B9 ou acide folique. [6], [17], [50], [67].

2.7.2.1. Définition.

L'acide folique et ses dérivés (les folates), sont des coenzymes. Ils interviennent comme accepteurs et donneurs de résidus à un carbone dans les réactions du métabolisme des

acides aminés et des acides nucléiques. Pour agir, ces différents coenzymes doivent être activés en folylpolyglutamates.

Ainsi la vitamine B9 est indispensable au métabolisme des acides aminés et des acides nucléiques mais également dans la synthèse des neuromédiateurs. Ceci permet d'expliquer que l'acide folique soit indispensable à tous les stades de la vie.

L'acide folique est peu soluble dans l'eau et les solvants organiques. Il est cependant soluble dans les milieux alcalins. Il est stable à la lumière mais très instable à la chaleur et aux UV. En effet les UV induisent une scission rapide de la vitamine B9 en position 9,10 pour donner de la ptéridine et une amine aromatique libre.

2.7.2.2. Sources.

En France, l'acide folique est majoritairement apporté par les légumes verts, les fruits, les fromages, les œufs, le foie et les graines.

2.7.2.3. Les besoins.

Pour la population française, les apports conseillés sont de 330 µg/jour chez les adolescents de 16-19 ans et les hommes adultes et de 300 µg/jour chez les adolescentes de 16-19 ans et les femmes adultes.

Chez la femme enceinte, on recommande des apports de 400 µg/jour.

2.7.2.4. Rôles physiologiques de la vitamine B9.

L'acide folique, ou vitamine B9, est un coenzyme permettant le transport de radicaux monocarbonés. Pour cela, il doit être activé par réduction en acide dihydrofolique puis en acide tétrahydrofolique (THF) via une dihydrofolate réductase. Ainsi la vitamine B9 intervient dans la synthèse du thymidylate, dans le métabolisme de l'histidine et de l'interconversion de la sérine en glycine.

Une carence en vitamine B9 provoque une diminution de la multiplication cellulaire (surtout des cellules à fort taux de renouvellement tels que les cellules sanguines, de l'intestin, du foie et de la peau). Chez la femme enceinte, les conséquences d'une carence en folates sont graves : anomalie du développement du placenta et de la circulation sanguine, anomalies du développement du fœtus (spina bifida, anencéphalie), retard de croissance du fœtus, augmentation du risque de prématurité.

2.7.3. La vitamine C ou acide ascorbique. [8], [18], [50], [67].

2.7.3.1. Définition.

La vitamine C est une molécule qui permet à l'organisme de lutter contre les infections (qu'elles soient virales ou bactériennes), protège la paroi des vaisseaux sanguins, intervient dans l'assimilation du fer et a une action antioxydante en agissant en synergie avec la vitamine E. Elle permet également la détoxification de substances cancérigènes et favorise la cicatrisation.

Cette vitamine est soluble dans l'eau mais elle est insoluble dans l'alcool. Sous forme naturelle, elle est très sensible à l'eau, à la chaleur, à l'air et à la lumière. Ces problèmes ne sont pas retrouvés quand la vitamine C se trouve sous forme cristalline comme dans les préparations pharmaceutiques.

2.7.3.2. Sources.

D'une façon générale, la vitamine C est présente dans tous les végétaux et plus particulièrement les fruits et les légumes.

2.7.3.3. Les besoins.

Pour les adultes de 20 à 60 ans, les apports nutritionnels conseillés en vitamine C sont de 110 mg/jour et pour les personnes âgées, ils sont de 120 mg/jour.

Afin d'assurer la couverture des besoins quotidiens en vitamine C, on recommande de consommer 500 g de fruits et légumes par jour.

2.7.3.4. Rôles physiologiques de la vitamine C.

L'acide ascorbique catalyse les réactions d'hydroxylation nécessaires à la synthèse du collagène, des catécholamines et intervient dans le métabolisme des stéroïdes, du cholestérol et des xénobiotiques (molécules cancérigènes, polluants, pesticides et médicaments).

L'acide ascorbique favorise l'incorporation du fer dans la ferritine ainsi que sa mobilisation à partir de cette forme de réserve.

Pour ce qui est des fonctions immunitaires, la vitamine C stimule la formation d'interférons et intervient dans les fonctions immunologiques et bactéricides des leucocytes en augmentant leur mobilité et en protégeant leurs membranes des atteintes oxydatives.

Enfin, de part son pouvoir antioxydant, l'acide ascorbique favorise la protection contre les maladies cardiovasculaires et neurodégénératives, contre certains cancers et contre la cataracte.

2.7.4. La vitamine D. [19], [50], [67].

2.7.4.1. Définition.

Il existe plusieurs formes de la vitamine D : la vitamine D₂, ou ergocalciférol, qui est produite par les végétaux, et la vitamine D₃, ou cholécalciférol, qui elle est produite par les animaux.

Les vitamines D sont peu sensibles à la chaleur. Elles ont la propriété d'être solubles dans les substances organiques et huileuses mais elles sont insolubles dans l'eau.

2.7.4.2. Sources.

La vitamine D provient d'une part de l'alimentation et d'autre part de notre organisme. En effet notre peau est capable de la synthétiser grâce à l'action des ultraviolets.

Contrairement aux autres vitamines, la source majeure de vitamine D est endogène.

Du point de vue alimentaire, elle est surtout présente dans les poissons, le foie, les œufs, les produits laitiers et certaines viandes.

2.7.4.3. Les besoins.

Les apports nutritionnels conseillés en vitamine D est de 5 µg/j pour les adultes et de 10 µg/j pour les personnes âgées.

2.7.4.4. Rôles physiologiques de la vitamine D.

Le rôle le plus important de la vitamine D dans l'organisme est la régulation de la balance phosphocalcique et la minéralisation du squelette. Elle intervient aussi dans les fonctions musculaires, immunitaires et le système nerveux.

Au niveau du métabolisme phosphocalcique, elle permet de stimuler l'absorption intestinale du calcium et des phosphates. Ensuite elle favorise la minéralisation de l'os et du cartilage de croissance.

Sur les muscles, cette vitamine agit sur les concentrations extracellulaires en calcium et en phosphate. Elle stimule également la différenciation des myoblastes en modifiant l'organisation du réticulum sarcoplasmique.

La vitamine D possède des effets immunomodulateurs : elle augmente la différenciation des monocystes et macrophages ainsi que leurs activités de cytotoxicité, de phagocytose, de mycobactéricidie et leur production de peroxyde d'hydrogène. Elle augmente enfin la prolifération des lymphocytes activés.

2.7.5. La vitamine E. [5], [50], [51], [67].

2.7.5.1. Définition.

La vitamine E possède des propriétés anti-oxydantes et agit au niveau des membranes cellulaires et des lipoprotéines.

La vitamine E, ou tocophérol, est une vitamine stable à la chaleur et à la lumière visible. Elle est détruite par les rayons ultraviolets et par l'oxygène. Elle est soluble dans les corps gras et les solvants organiques mais insoluble dans l'eau.

2.7.5.2. Sources.

Les principales sources de vitamine E sont multiples. On en trouve dans les huiles végétales (tournesol, colza, pépin de raisin), les poissons gras (saumon, thon, maquereau), le beurre, les fruits et légumes (noix, fenouil, petit pois, épinards, persil, kiwi) et les germes de céréales.

2.7.5.3. Les besoins.

Pour les adultes, les apports nutritionnels conseillés sont de 12 mg / kg / j.

2.7.5.4. Rôles physiologiques de la vitamine E.

La vitamine E possède un grand pouvoir anti-oxydant grâce à son action inhibitrice de la peroxydation lipidique. Ainsi, la vitamine E contribue à stabiliser les membranes cellulaires. Il a également été montré que cette vitamine, grâce à son pouvoir anti-oxydant, permet de lutter contre l'oxydation des LDL et ainsi diminue le phénomène d'athérosclérose.

2.8. Les apports en eau. [67].

L'eau est indispensable à la vie. Elle représente 60 à 65 % de notre poids et est présente dans chaque cellule de notre organisme. Elle intervient dans notre organisme de diverses façons : transport des nutriments, élimination des déchets du métabolisme, régulation de la température corporelle.

On conseille de boire au minimum 1,5 L d'eau par jour. Ceci n'est qu'une estimation, il s'agit en fait de compenser toutes les pertes en eau de la journée. Ces pertes ont différentes causes : la sueur (un demi-litre par jour), l'urine (un litre par jour), ou encore la respiration (un demi-litre par jour). Cependant les besoins en eau peuvent augmenter en fonction de situations physiologiques ou pathologiques (fièvre, diarrhée, vomissements, femmes enceintes ou qui allaitent...), des conditions climatiques (forte chaleur) ou encore de l'activité physique pratiquée.

L'eau peut être apportée de différentes façons : l'eau de boisson, les jus de fruits, les sodas, les laitages, les tisanes, thés ou encore cafés. Cependant, les boissons ne sont pas les seules sources d'apport en eau, l'alimentation en général et en particulier les légumes sont une source importante en eau.

Il est essentiel de reconstituer nos réserves hydriques en apportant à notre corps de façon régulière de l'eau. Des mécanismes physiologiques tels que la sensation de soif permettent de nous alerter sur notre état d'hydratation. La soif constitue le premier niveau d'alerte et se déclenche pour une perte de 2 %. A partir de 10 %, nous commençons à ressentir des hallucinations et au-delà de 15 %, le risque vital est en jeu. Il est cependant très important de noter que la sensation de soif est un signe tardif d'un début de déshydratation,

ainsi il est recommandé de boire régulièrement de petites quantités d'eau tout au long de la journée même si l'on n'en ressent pas le besoin.

3. Apports Nutritionnels Conseillés (ANC) pour les sportifs.

Les sportifs ont une dépense énergétique très élevée. Ainsi leurs apports nutritionnels conseillés sont augmentés par rapport à la population générale. Cette dernière possède un rythme de vie régulier. Ce n'est pas le cas des sportifs chez qui on distingue des périodes d'entraînement, de compétition et de récupération. En conséquence leur alimentation doit être adaptée en fonction de ces différentes phases de façon à ce que leur condition physique soit optimale.

L'alimentation du sportif a pour but d'améliorer ses performances. Elle consiste à satisfaire les besoins alimentaires liés à l'activité physique. Pour se faire, l'alimentation doit être adaptée de façon qualitative et quantitative, et ce aux différentes phases de la vie du sportif. Pendant les périodes de repos, l'alimentation devra viser à constituer un stock maximal en énergie, et pendant les périodes d'effort physique, l'alimentation aidera à procurer de l'énergie régulièrement pour éviter la fatigue.

Les sources d'énergie pour l'effort sont essentiellement les glucides et les lipides. Cependant, le problème est que si le réservoir en lipides est quasiment illimité (le corps en possède environ 10 kg), celui en glycogène ne l'est pas ! L'alimentation pourra aider à constituer un stock maximal en glycogène. L'hydratation tient également une place importante dans la stratégie nutritionnelle.

3.1. Les apports en glucides.

3.1.1. Importance des glucides à l'effort. [29], [45].

Les glucides représentent le macronutriment le plus important dans l'alimentation du sportif, surtout pour les sportifs pratiquant un sport d'endurance tel que le cyclisme. C'est le substrat énergétique essentiel. Il a été démontré que le taux de diminution des glucides et

notamment du glycogène musculaire est le facteur le plus important de l'épuisement des sportifs.

Les glucides sont donc les principaux substrats utilisés par le muscle. Leur niveau d'utilisation dépend de l'intensité et de la durée de l'effort physique : plus l'effort est long et intense, plus leur consommation augmente.

La source de glucose est en premier lieu le glycogène. Cependant, les réserves sont rapidement épuisées. L'épuisement des réserves en glycogène musculaire est un facteur de diminution pour la capacité à produire un effort physique sans pour autant imposer l'arrêt du travail musculaire.

Le glycogène hépatique joue également un rôle important. On observe que la production de glucose d'origine hépatique est 4 à 5 fois plus élevée lors d'un effort musculaire intense. Deux voies métaboliques sont utilisées : la glycogénolyse et la néoglucogenèse. La première est utilisée de façon majoritaire en début d'exercice et la seconde lors d'un exercice prolongé.

La seule façon d'augmenter les réserves en glycogène est de consommer des glucides sur plusieurs jours. Cependant, cela a-t-il réellement des conséquences sur la performance ? Il faut distinguer deux cas. Pour les efforts de moins de 90 minutes, le niveau de glycogène avant l'effort n'a pas d'impact sur la performance car il subsiste du glycogène dans le muscle. Par contre pour les efforts de plus de 90 minutes, le taux de glycogène musculaire initial joue un rôle très important sur la performance, et une réserve insuffisante en début d'exercice est néfaste à la performance. [40]. Pour les sports d'endurance tel que le cyclisme, une alimentation dite normale en glucides est insuffisante et diminue les capacités à l'effort. L'alimentation devra viser à constituer des réserves suffisantes en glycogène musculaire et ce avant, pendant et après l'effort.

Après un exercice épuisant, la resynthèse du glycogène musculaire doit être rapidement effectuée pour faciliter la récupération et pour pouvoir éventuellement réitérer un exercice important dans les jours qui suivent voir dès le lendemain. Cette dernière est

favorisée par un régime hyperglucidique prolongé. La condition indispensable à la resynthèse du glycogène est la présence de glucose dans la cellule. L'insuline est l'hormone nécessaire à la pénétration du glucose dans la cellule. Cette dernière multiplie jusqu'à huit fois la vitesse de synthèse du glycogène musculaire. Ce phénomène est accentué par l'entraînement en endurance.

La vitesse de synthèse du glycogène musculaire est proportionnelle à la quantité des apports en glucides. Jusqu'à 250 g/j de glucides ingérés (soit 4 g/kg/j), la vitesse de resynthèse du glycogène musculaire est faible. En effet, le glucose sert en premier à alimenter les organes pour lesquels il est un substrat indispensable tel que le système nerveux central par exemple. Ensuite la resynthèse est linéaire jusqu'à 500 g/j puis un maximum est atteint au-delà de 600 à 700 g/j (soit 10 g/kg/j ou 70 % de l'apport énergétique total quotidien). A ce moment là, une partie des glucides ingérés en excès est oxydée pour fournir de l'énergie et transformée en triglycérides. Une partie de ces triglycérides va servir de réserve énergétique en étant stockée dans le muscle. Ces derniers seront utilisés, le cas échéant, lors d'un exercice physique. Quand les réserves sont constituées, l'excédant de glucides sera stocké dans le tissu adipeux. C'est pour cela que si le sportif privilégie ce genre de régime alimentaire sans pour autant pratiquer une dépense énergétique équivalente, cela conduira à un excès de poids et à terme à une obésité.

Pour obtenir un résultat optimal, les apports en glucides devront être repartis de la façon suivante : plus on est loin de l'exercice, plus on privilégiera l'ingestion des glucides complexes et à indice glycémique faible à moyen à raison de 50 à 70 % de l'apport énergétique total quotidien. A l'inverse, plus on est proche de l'exercice ou pendant l'exercice, on privilégiera l'ingestion des glucides simples et à index glycémique élevé et ce dans une proportion de 70 à 90 % de l'apport énergétique total quotidien.

Ainsi, les apports nutritionnels conseillés en glucides vont de 5 à 12 g/kg/j selon l'exercice envisagé.

3.1.2. Stratégie alimentaire à l'effort. [25], [29], [61], [64].

Le but est d'amener le sportif au départ d'une épreuve avec les stocks les plus élevés en glycogène, une hydratation optimale sans qu'il soit pour autant gêné sur le plan digestif.

3.1.2.1. Avant l'effort.

Certains sportifs de haut niveau utilisent le régime dit « dissocié scandinave ». Ce dernier permet de constituer des réserves en glycogène très élevées.

Il est pratiqué sur une semaine et se divise en deux phases d'où son nom. Pendant les trois premiers jours, le but est de diminuer le plus rapidement possible le glycogène en excluant de l'alimentation toutes les formes de glucides. Elle est en général peu suivie en raison des conséquences digestives et générales dues à l'acidocétose et au manque de glucides. Cette phase est dite hyperprotidolipidique. Un entraînement léger quotidien est maintenu durant cette première phase. La deuxième phase, sur les trois jours suivants, est dite hyperglucidique. L'alimentation est alors essentiellement constituée de glucides à faible index glycémique. Elle a pour but de reconstituer au maximum les réserves en glycogène hépatique et musculaire. Ceci s'effectue 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 en glycogène très élevées lors de la réintroduction de glucides dans l'alimentation. Pour préserver les stocks en glycogène, l'activité physique durant cette phase doit être très faible. Ce type de régime présente un certain nombre d'inconvénients. La poursuite de l'entraînement pendant la phase hypoglucidique entraîne une importante fatigue ayant souvent pour conséquence des accidents musculaires fréquents. Des problèmes de transit intestinal ont également été rapportés.

Il existe un régime dissocié modifié où les trois premiers jours sont dits normoglucidiques (l'apport en glucides se situe à 40, 50 % de l'apport énergétique total quotidien) et où la seconde phase est inchangée. Il permet d'obtenir des résultats très proches du régime précédant tout en étant beaucoup moins dangereux.

8 à 12 heures avant l'épreuve, l'apport en glucides servira à augmenter les réserves en glycogène. Cet apport se fait par des glucides à index glycémique moyen tel que 150 à 500 g (200 g en moyenne) de spaghettis en poids sec par exemple. La quantité de cette « pasta partie » varie selon la durée prévue de l'épreuve. Les sauces épicées sont à éviter pour préserver le confort digestif.

Le repas terminé trois heures avant l'épreuve permet d'épargner le glycogène hépatique. De plus cela permet d'avoir une quasi-vacuité gastrique au début de l'exercice. Ce repas doit contenir des glucides à index glycémique faible à moyen tels que, du riz ou des pâtes alimentaires. Un petit déjeuner à la française enrichi en céréales (riz, pâtes alimentaires) est recommandé.

Une heure après le repas précédant, on commence à ingérer des glucides à index glucidique élevé et simple. C'est ce que l'on appelle la ration d'attente. Ceci contribue également à épargner le glycogène hépatique sans pour autant augmenter trop l'insulinémie. On conseille en général d'ingérer 0,25 g/kg/30 min.

10 à 15 minutes avant le départ, l'ingestion d'une boisson glucosée permet de maintenir l'hydratation tout en apportant des glucides en début d'exercice. Leur oxydation est précoce et leur pénétration cellulaire est facilitée sans que l'insulinémie n'augmente de façon excessive.

Cependant chez certains sujets sensibles, l'insulinémie peut augmenter considérablement entraînant une hypoglycémie en début d'épreuve. On conseille donc une boisson à base de fructose à 30 g/l qui est moins insulino-sécréteur. Certains, en raison du risque d'hypoglycémie, préfèrent privilégier des hydrates de carbone à index glycémique lent à moyen une heure avant le départ à hauteur de 200 g de riz, pâtes, pain. Ces glucides seront lentement métabolisés, apportant ainsi de l'énergie pendant les deux premières heures de l'épreuve. Ce régime dispense d'apporter des glucides dans les minutes qui précèdent le départ.

3.1.2.2. Pendant l'effort.

Ici, l'objectif est d'apporter un substrat énergétique rapidement oxydable, de contrôler la glycolyse musculaire, voire de la réduire. On devra également réhydrater de façon correcte. Ainsi le meilleur compromis est d'apporter des glucides sous forme de boissons.

Pour les exercices de plus d'une heure, on conseille une prise régulière de 150 à 300 ml toutes les 15 à 30 minutes d'une solution contenant du glucose, ou des polymères du glucose et du fructose, ou de saccharose à 30 à 100 g/l de glucides, des sels minéraux et des micronutriments (au minimum du chlorure de sodium).

Pour assurer une vidange gastrique optimale et donc une réhydratation optimale, sans pour autant provoquer d'intolérance à type de crampes ou ballonnements, brûlures d'estomac ou diarrhée, l'osmolarité de la solution devra être iso ou hypotonique au plasma. Le sodium contenu dans la boisson facilite l'absorption intestinale de l'eau, et permet de prévenir de l'hyponatrémie.

Pour les épreuves de plus de trois heures, des apports solides de glucides à index glycémique faible et élevé toutes les heures sont conseillés.

Au-delà de cinq heures, des petits repas à base de glucides simples et complexes et de protéines sont indispensables.

3.1.2.3. Après l'effort, la phase de récupération.

Il est important de reconstituer rapidement les réserves en glycogène musculaire et hépatique pour récupérer plus facilement du point de vue physique mais également pour pouvoir s'entraîner à nouveau ou fournir un effort physique important dès le lendemain.

La vitesse de resynthèse du glycogène est conditionnée par la nature des sucres. On note que cette resynthèse est identique si l'on ingère du glucose ou ses polymères mais

qu'elle est plus lente si l'on ingère du fructose. Cependant le fructose a l'avantage d'accélérer la vitesse de resynthèse du glycogène hépatique.

Les sucres lents semblent être les sucres à privilégier pendant la phase de récupération, surtout pour les sports d'endurance. Ce sont eux qui permettent une meilleure resynthèse du glycogène musculaire.

En résumé, il est nécessaire d'ingérer dès la fin de l'exercice des glucides simples en solution (glucose et fructose à 60 à 100 g/l) à raison de 0,15 à 0,25 g/kg tout les quarts d'heure pendant deux à quatre heures.

Le sodium doit également être présent dans la boisson en proportion de 40 à 60 mmol/l. Ceci permet une bonne rétention d'eau et donc une réhydratation efficace.

Le volume de boisson total ingéré devrait être de 1,5 à 2 fois les pertes sudorales.

Une heure après l'exercice et ceci au moins toutes les deux heures sur six heures ou plus, des apports en glucides et en protéines sous forme solide peuvent être ajoutés pour aider à la resynthèse glycogénique.

3.2. Les apports en lipides. [29], [45], [61], [64].

On conseille pour la population générale des apports nutritionnels en lipides se situant entre 30 % et 35 % de l'apport énergétique total quotidien dont 10 g/j d'acide linoléique (soit 4 % de l'apport énergétique total quotidien) et 2 g/j d'acide α -linoléique (soit 0,8 % de l'apport énergétique total quotidien). Cependant, la pratique d'une activité physique régulière modérée à intense nécessite-t-elle des besoins spécifiques en lipides ?

Au cours d'un effort musculaire, les lipides peuvent servir de substrat énergétique. Les lipides utilisés sont les triglycérides intramusculaires ou des acides gras du tissu adipeux. Leur utilisation va dépendre de l'intensité et de la durée de l'exercice.

L'oxydation des acides gras fournit une quantité importante d'énergie. Cette donnée pourrait être intéressante pour les sportifs d'endurance si les acides gras étaient facilement mobilisables et disponibles.

Au cours d'un effort, l'organisme utilise deux sources d'acides gras : les triglycérides contenus dans les adipocytes et ceux contenus dans les muscles. Au niveau adypocytaire, une triglycéride lipase hydrolyse les triglycérides en glycérol et en acides gras qui sont ensuite libérés dans le plasma. De plus, pour un effort musculaire moyen, aérobie et de plus de 30 minutes, l'insulinémie diminue et la catécholaminémie augmente. Ceci est en faveur d'une libération adypocytaire d'acides gras vers le flux sanguin. Ces acides gras sont alors utilisables pour produire de l'énergie. Au niveau musculaire, l'effort physique permet d'activer une lipase musculaire qui va hydrolyser les triglycérides mis en réserve dans le sarcoplasme en acides gras, et ce d'autant plus vite que l'exercice est intense et que le sportif est entraîné. On considère que dans le muscle la dégradation des acides gras peut fournir jusqu'à 45 % de l'énergie nécessaire. L'entraînement a un effet bénéfique sur l'utilisation des acides gras. Ce dernier entraîne une baisse plus rapide de l'insulinémie et donc une mobilisation plus rapide et plus importante des acides gras par la suite. Les triglycérides contenus dans les VLDL plasmatiques sont très peu utilisés pour fournir de l'énergie au cours d'un effort.

Les réserves en lipides de l'organisme sont suffisantes pour couvrir les besoins d'un sportif que ce soit à l'entraînement ou en compétition. Il a été démontré qu'un repas riche en lipides (60 % de l'apport énergétique total quotidien en lipides) quatre heures avant une compétition ou une alimentation hyperlipidique (62 % de l'apport énergétique total quotidien en lipides) sur plusieurs semaines n'a aucune influence sur la performance. Malgré des dépenses énergétiques augmentées chez le sportif, aucun argument ne permet de penser qu'il est nécessaire d'augmenter les apports lipidiques chez les sportifs, que ce soit à l'entraînement ou en compétition.

Pour un bon nombre de sportifs, la diminution des apports en lipides est synonyme de réussite. Cette idée vient du fait que si on ingère trop de matières grasses, le surpoids engendré est inutile et augmente la dépense énergétique à l'effort. Cependant, même si avoir

un poids optimal est l'une des clefs de la réussite, il est faux de penser que maigrir « indéfiniment » est toujours favorable. En effet, certains acides gras exercent d'importants rôles énergétiques et fonctionnels (certains lipides interviennent dans la structure des membranes cellulaires, ou sont précurseurs de molécules régulatrices telles que les eicosanoïdes par exemple). Les risques de carences avec une alimentation pauvre en lipides sont importants.

D'autres pensent que la bonne stratégie vise à augmenter les apports en lipides. Cette solution n'est également pas la bonne. En général, c'est la part d'acides gras saturés qui est augmentée. Ce type d'alimentation favorise le risque de maladies cardiovasculaires, augmente le risque de développer un diabète de type deux voire une obésité.

Plusieurs types de régimes lipidiques ont été testés en vue d'améliorer les performances sportives. Comme les réserves en glucides sont limitées, certains ont pensé qu'en ayant un régime hyperlipidique, l'oxydation des glucides serait moindre et l'oxydation des acides gras serait augmentée. Plusieurs études ont tenté d'en démontrer l'intérêt. Il en ressort qu'il n'y a aucune utilité à augmenter les rations lipidiques avant et pendant l'effort. Par contre cela pourrait s'avérer positif en cas d'apport après l'effort. Une augmentation des apports en lipides permettrait de reconstituer le stock de triglycérides intramusculaires. [22].

L'effet d'un régime hypolipidique ne serait pas non plus très concluant. En diminuant l'apport en lipides, on diminue aussi la ration calorique ce qui à terme provoque un épuisement plus rapide.

L'effet d'un jeûne global a également été étudié sur l'utilisation des lipides. Il en ressort que l'oxydation des lipides est augmentée permettant ainsi d'épargner les réserves en glycogène. Les performances sont alors identiques voire supérieures à l'effet en cas de non jeûne. Par contre pour des efforts intenses, les performances sont réduites. [43].

On conseille donc des apports lipidiques équilibrés, inspirés du modèle crétois soit 1 à 1,2 g/kg de poids et par jour en lipides. Ils doivent entre autre optimiser l'apport d'acides gras type oméga 3 à longue chaîne, ce qui permet de favoriser l'induction des enzymes de la lipolyse au niveau musculaire. L'apport énergétique total quotidien en lipides doit être proche de celle de la population générale soit 20 à 30 % pour un sportif d'endurance. Cela permet de

favoriser les apports en glucides et de les faire atteindre 55 à 65 % de l'apport énergétique total quotidien.

En ce qui concerne l'aspect qualitatif de l'apport en acides gras, les recommandations pour la population générale s'appliquent au sujet sportif. Ainsi les acides gras peuvent se répartir de la façon suivante : 25 % d'acides gras saturés, 60 % d'acides gras mono-insaturés et 15 % d'acides gras polyinsaturés. L'apport en oméga 6 doit représenter 4 % de l'apport énergétique total quotidien soit 8 à 10 g/j pour éviter toute carence ; l'apport nutritionnel conseillé est de 0,8 % de l'apport énergétique total quotidien pour les oméga 3 soit 1,6 à 2 g/j. Le rapport oméga 6 sur oméga 3 doit être de cinq.

3.3. Les apports en protéines. [29], [39], [45], [64].

Les apports en protéines doivent être suffisants pour assurer l'ensemble des synthèses protéiques de l'organisme, compenser les pertes dues à l'utilisation des acides aminés comme source d'énergie et assurer le « turn over » protéique.

Lors d'un exercice physique prolongé, lorsque le glucose fait défaut, on observe une dégradation des protéines dans le but de libérer des acides aminés capables de servir de substrat énergétique.

Peu d'acides aminés sont capables de fournir de l'énergie. Soit ils sont apportés par l'alimentation, soit ils sont fournis par l'organisme grâce à une protéolyse endogène ou par synthèse. Si les apports en protéines sont insuffisants, il y aura une dégradation de la masse musculaire en priorité (le muscle représente le plus grand réservoir de l'organisme en acides aminés). D'autres protéines peuvent être utilisées : l'albumine, l'hémoglobine, les protéines viscérales.

Les acides aminés capables d'être oxydés sont les acides aminés dit « branchés » ou « ramifiés » : la valine, la leucine et l'isoleucine. D'autres sont utilisés de façon nettement moins majoritaire : l'acide aspartique, l'asparagine et l'acide glutamique.

Après avoir été désaminés pour former un acide α -cétonique, deux utilisations sont possibles : soit alimenter le cycle de Krebs afin de fournir de l'énergie par voie oxydative, soit alimenter la néoglucogenèse afin de synthétiser du glucose.

L'activité physique provoque des altérations protéiques et ce par divers phénomènes : oxydation par des radicaux libres, microlésions membranaires, réactions inflammatoires. En conséquence on observe des dégradations voire des pertes protéiques.

En conséquence, on peut penser que les apports nutritionnels conseillés en protéines pour les sportifs sont différents des apports conseillés pour la population générale.

Pour les sujets entraînés en endurance (4 à 5 jours par semaine pendant au moins une heure), l'apport nutritionnel conseillé est augmenté à 1,1 g/kg/j en protéines. Pour les sportifs de haut niveau, les besoins sont augmentés à 1,6 g/kg/j. En général, les sportifs couvrent largement leur besoins en protéines par leur alimentation habituelle.

On a pu remarquer que les glucides ont un rôle important dans la synthèse protéique notamment grâce à l'insuline qui est une hormone anabolisante. Les glucides participent donc indirectement, grâce à la stimulation insulinique qu'ils engendrent, à la synthèse protéique. La ration quotidienne en protéines est quant à elle indispensable au maintien des protéines structurales.

Certains travaux ont cherché à déterminer le rôle des acides aminés branchés dans la fatigue, les performances physiques et mentales.

Comme nous l'avons vu précédemment, lors des efforts prolongés et surtout quand les glucides viennent à manquer, les protéines sont hydrolysées pour libérer les acides aminés branchés servant à fournir de l'énergie. L'oxydation de ces acides aminés branchés conduit à une diminution de leur taux plasmatique. [28]. Hors, au niveau sanguin il existe une compétition entre le tryptophane libre et les acides aminés branchés pour franchir la barrière hémato-encéphalique : ces acides aminés utilisent le même transporteur. Ainsi, lorsque le taux sanguin d'acides aminés branchés diminue, ou lorsque le taux de tryptophane libre augmente, le rapport tryptophane libre sur acides aminés branchés augmente, favorisant ainsi

l'entrée du tryptophane libre dans le système nerveux central. Cependant le tryptophane est le précurseur de la sérotonine. La sérotonine est un neurotransmetteur impliqué dans la diminution de l'excitabilité neuronale et dans la suppression de l'appétit. Si la concentration en tryptophane libre augmente au niveau du système nerveux central, il s'en suit une augmentation de la concentration en sérotonine également. C'est cette augmentation de la concentration en sérotonine qui serait à l'origine de la fatigue centrale. [28].

En temps normal, le tryptophane est lié en grande partie à l'albumine. Mais seul le tryptophane libre peut passer la barrière hémato-encéphalique. En période d'effort physique, le tryptophane est déplacé de l'albumine du fait de l'augmentation du taux d'acides gras libres dans la circulation. La concentration en tryptophane libre augmente, favorisant ainsi son passage à travers la barrière hémato-encéphalique.

L'origine de la fatigue centrale est encore hypothétique, cependant cela conduit à évaluer les effets de l'apport d'acides aminés branchés sur les performances en endurance. Des différentes études menées, il en ressort que l'administration d'acides aminés branchés par voie orale pendant un exercice prolongé n'apporte aucun bénéfice sur les performances physiques et serait même plutôt néfaste car ils seraient la source d'une plus grande production d'ammoniaque au cours de l'exercice. [44]. L'ammoniaque présente en effet une toxicité sur le système nerveux central. En ce qui concerne les performances mentales, quelques arguments expérimentaux laissent à penser que l'ingestion de petites quantités d'acides aminés branchés permettrait de maintenir les performances mentales de sujets réalisant un effort allant de une heure et demi à trois heures et demi. Mais tout reste à confirmer à l'heure actuelle. [30].

3.4. Les apports hydriques. [25], [29], [39], [45].

L'équilibre hydrique au sein de l'organisme est essentiel. Au cours d'un effort physique, surtout s'il est long, intense et effectué en ambiance chaude, la température interne va augmenter. Pour réguler sa température, l'organisme sécrète de la sueur, qui en s'évaporant, va permettre d'abaisser la température interne.

Une déshydratation entraîne des effets délétères sur l'organisme. Sa prévention a un intérêt primordial, d'une part pour pouvoir optimiser son effort et sa performance, mais surtout pour éviter les risques d'accidents graves.

3.4.1. La thermorégulation et la déshydratation. [39], [45].

L'exercice physique produit une quantité de chaleur qui est proportionnelle à l'intensité de l'exercice. Si cette chaleur était stockée, la température corporelle pourrait augmenter de 1°C toutes les 5 minutes environ. L'organisme répond à cette augmentation grâce à la thermolyse.

La thermolyse se décompose en deux phases. La première phase permet de transférer la chaleur musculaire vers la surface cutanée par convection forcée. Le sang joue le rôle de vecteur. Dans les capillaires sanguins musculaires, le sang se réchauffe puis est distribué à l'ensemble de l'organisme, notamment jusqu'à la surface cutanée. Puis intervient la deuxième phase. Par convection et radiation, la peau restitue la chaleur au milieu ambiant. Cependant, si la température ambiante est supérieure à la température cutanée moyenne, l'évaporation devient le moyen le plus efficace pour évacuer la chaleur corporelle.

Il existe trois voies d'évaporation :

- La perspiration insensible cutanée. Cela correspond à une petite quantité d'eau qui diffuse passivement à travers la peau. La vitesse d'évaporation est de l'ordre de 10 ml/h.
- La perspiration ventilatoire. Cela correspond à l'eau vaporisée au moment de l'expiration. C'est aussi un phénomène passif. La vitesse d'évaporation est de l'ordre de 15 ml/h.
- La sudation. C'est le moyen le plus efficace pour réguler la température. Le débit sudoral est fonction de la température corporelle qui dépend elle-même de l'intensité de l'effort produit et de la température ambiante. Le niveau d'entraînement et sa capacité à s'habituer à la chaleur va également jouer sur la quantité de sueur produite. Plus un sujet sera entraîné et capable de s'habituer à la chaleur, plus sa température seuil de déclenchement de la sudation sera basse. Cela permet d'évacuer rapidement la chaleur dès le début d'un effort physique mais cela expose encore plus au risque de déshydratation.

Les pertes sudorales sont difficiles à calculer, on peut néanmoins les estimer en pesant le sujet avant et après l'exercice, tout en tenant compte des apports liquidiens durant l'exercice, des pertes métaboliques, respiratoires et urinaires. En général, pour des efforts de une à deux heures, les pertes sont de 1,5 à 1,8 l/h voire jusqu'à 3,7 l/h sous climat chaud. Au-delà, on les estime à 1 l/h.

La sueur est composée essentiellement d'eau et de chlorure de sodium (NaCl). La concentration en sodium est de 20 à 60 mEq/l. On estime les pertes en NaCl à 2 g lors d'une activité physique réalisée par un sujet modérément entraîné, et jusqu'à 6 à 7 g par 24 heures chez un sujet entraîné pratiquant un sport quotidiennement. Les sujets sportifs devront donc veiller à compenser les pertes sudorales en NaCl.

3.4.2. Les conséquences de la déshydratation. [29], [45].

Si les pertes en eau ne sont pas compensées au cours de l'exercice, les conséquences peuvent être gravissimes.

La sudation et les autres pertes liquidiennes sont responsables d'une diminution du volume d'eau dans l'organisme. La diminution du volume liquidien entraîne une hyperosmolarité plasmatique. Ceci a pour conséquence de faire un appel d'eau du milieu intracellulaire vers le milieu plasmatique pour maintenir un volume circulant efficace. On observe alors une déshydratation intracellulaire.

A partir d'un certain niveau de déshydratation, le volume circulant ne peut plus être compensé et on observe alors une hypovolémie. L'hypovolémie entraîne une diminution du volume d'éjection systolique qui ne peut être compensé par l'augmentation de la fréquence cardiaque. En conséquence on observe une diminution du débit cardiaque maximal à l'exercice.

L'hypovolémie et/ou l'hyperosmolarité plasmatique sont également responsables de l'augmentation de la température seuil de déclenchement de la sudation, de la vasodilatation cutané pendant l'exercice et d'une diminution du débit sudoral.

Ainsi la température interne du corps augmente proportionnellement à l'importance de la déshydratation au cours de l'exercice. La chaleur musculaire ne peut plus être transférée vers le milieu ambiant du fait des réductions du débit sanguin cutané et de la sudation. [21].

Une déshydratation supérieure à 4 % du poids corporel peut être dangereuse car elle favorise l'apparition d'accidents graves et parfois mortels : le coup de chaleur. Le plus souvent le coup de chaleur survient chez des sujets jeunes, sans antécédents connus, au cours d'efforts physiques intenses pratiqués dans des conditions défavorables (ambiance chaude, ensoleillée et humide, port de vêtements faisant obstacle à l'évaporation de la sueur). Le coup de chaleur correspond à une élévation excessive de la température corporelle (plus de 41°C).

Il existe des signes annonçant le coup de chaleur. Le sujet présente des troubles du comportement à type de désorientation et agitation, associés à une sensation de chaleur, un

trouble de la sensibilité des extrémités, des vomissements puis une perte de connaissance conduisant à une chute.

Les complications sont de type musculaire : lésions tissulaires diffuses, touchant en priorité les muscles (rhabdomyolyse), mais aussi le foie, les reins et le système nerveux central. L'atteinte neurologique peut aller de la confusion au coma, parfois accompagnée de convulsions.

Le sujet présentant un coup de chaleur est une urgence absolue qui impose un traitement immédiat : arrêt du sujet (devant les signes avant-coureurs), mise à l'ombre, déshabillage, aspersion d'eau et ventilation dans le but de refroidir le plus physiologiquement possible l'organisme. Il faut également mettre en œuvre des mesures de protection (mise en position latérale de sécurité) contre les complications des vomissements (pneumopathie d'inhalation par exemple) et des convulsions. Le rééquilibrage hydrosalin par perfusion doit être entrepris le plus tôt possible. Le sujet doit être toujours emmené vers une structure de traitement d'urgence sous réanimation.

L'évolution est en général favorable, avec une amélioration rapide de l'état neurologique. Cependant, dans 5 % des cas nécessitant une hospitalisation, on observe une détérioration de la santé du patient avec une défaillance multiviscérale conduisant au décès.

Le coup de chaleur est la conséquence la plus grave d'une déshydratation. Mais une déshydratation peut également avoir des conséquences digestives. En effet les troubles digestifs sont fréquents chez les sportifs d'endurance. On observe des troubles digestifs hauts à type de nausées, vomissements, pyrosis (sensation de brûlure partant de l'épigastre et remontant vers l'œsophage et le pharynx) lié à un reflux gastro-œsophagien ; et des troubles digestifs bas à type de coliques et diarrhées plus ou moins sanglantes.

Ces troubles digestifs sont la conséquence de facteurs mécaniques directement liés à la pratique sportive elle-même, mais ils sont également la conséquence d'une ischémie au niveau du tube digestif. En effet, les adaptations hémodynamiques liées à la pratique sportive entraînent une diminution du débit sanguin viscéral. Ce phénomène est d'autant plus important que l'intensité de l'exercice est élevée. Pour s'adapter à cette hypovolémie viscérale, l'organisme réagit par une vasoconstriction des artères gastriques. Ceci fragilise la muqueuse et peut entraîner des gastrites érosives parfois hémorragiques. On observe

également une ischémique mésentérique pouvant entraîner des colites avec des lésions. Ces lésions sont souvent localisées au niveau du côlon gauche, mais peuvent parfois s'étendre à tout le cadre colique. Dans certains cas une intervention chirurgicale peut être nécessaire.

La déshydratation accroît le phénomène car elle est responsable d'une réduction supplémentaire du débit sanguin viscéral. Elle accroît donc le risque de survenue de troubles digestifs.

Un entraînement physique régulier permet de diminuer l'hypertonie sympathique et une hydratation efficace pendant l'effort permet de limiter les troubles digestifs.

3.4.3. Mécanisme de la réhydratation. [29].

Une mauvaise hydratation est synonyme de mauvaises performances sportives et peut avoir des conséquences graves sur la santé comme nous avons pu le voir précédemment. Les sportifs ont donc tout intérêt à s'hydrater correctement.

Pour aborder l'hydratation, il faut tout d'abord envisager son mécanisme. Pour que l'eau arrive jusqu'aux cellules, trois étapes sont nécessaires : le comportement dipsique ou l'acte de boire spontanément ou de façon imposée, la vidange gastrique et l'absorption intestinale de l'eau.

Une hydratation optimale devra favoriser chacune de ces étapes.

Pour s'hydrater correctement au cours d'un effort physique, il ne faut pas attendre d'avoir soif. Même si la sensation de soif est un stimulus efficace, attendre d'avoir soif pour s'hydrater n'est pas favorable. En effet, il a été prouvé que lorsque la sensation de soif survient au cours d'un exercice physique, un état de déshydratation est déjà installé. Il faut donc boire avant d'avoir soif.

Pour favoriser la prise de boisson, il faut que cette dernière soit facilement accessible et attractive. En cyclisme, l'accessibilité à la boisson est relativement facile grâce au porte-

bidon. Celui-ci permet d'avoir toujours de la boisson à portée de main. L'aspect organoleptique de la boisson est également très important. Plus la boisson est reconnue comme étant agréable à boire, plus le sportif aura tendance à en prendre.

Pour favoriser la vidange gastrique, il faut prendre en compte les caractères physico-chimiques de la boisson.

L'ingestion unique d'un volume de liquide initiale de 560 ml, puis de 2 ml/kg de poids toutes les vingt minutes permet une vidange gastrique rapide. Cependant, l'ingestion d'un tel volume provoque souvent une gêne par distension des parois de l'estomac. On conseille donc au sujet sportif de s'hydrater toutes les vingt minutes en adaptant le volume en fonction de sa tolérance digestive.

En ce qui concerne la concentration en glucose de la boisson, il est préférable de choisir des boissons ne contenant pas plus de 2,5 g/100 ml de glucose. Au-delà, la vidange gastrique est diminuée par une trop grande osmolarité. On peut aussi utiliser des polymères du glucose et des solutions de disaccharides : cela permet de diminuer l'osmolarité de la boisson (et donc de faciliter la vidange gastrique) tout en apportant la même quantité énergétique.

L'influence de la concentration en chlorure de sodium a été étudiée. Sa présence dans une boisson de l'effort augmente la vitesse de la vidange gastrique par rapport à une boisson n'en contenant pas.

La température de la boisson peut être prise en compte. On conseille d'ingérer des boissons fraîches (10 à 15°C). En effet, la vitesse d'évacuation gastrique est inversement proportionnelle à la température de la boisson, et ce jusqu'à 5°C. De plus, cela permet de rafraîchir l'organisme tout en favorisant spontanément la consommation de boisson.

Pour favoriser l'absorption intestinale, l'utilisation de solutions hypotoniques ou isotoniques d'hydrates de carbones (avec ou sans électrolytes) est nécessaire. Les solutions hypertoniques aggravent la déshydratation. Elles induisent un appel d'eau vers la lumière intestinale pour rétablir le gradient osmotique provoquant ainsi une déshydratation intracellulaire. L'association glucose-sodium permet de faciliter l'absorption intestinale de

l'eau. Le fructose quant à lui n'apporte aucun bénéfice sur l'absorption intestinale de l'eau puisqu'il ne permet pas de créer un gradient osmotique suffisant.

3.4.4. Formes d'hydratation au cours d'un exercice physique. [29].

Le volume et la fréquence des apports hydriques vont permettre d'améliorer les performances physiques. Une hydratation efficace permettra de lutter contre l'hypovolémie, l'hyperosmolarité plasmatique, l'augmentation de la fréquence cardiaque et de la température corporelle.

La boisson choisie peut être de l'eau plate mais elle n'apporte aucun intérêt énergétique. Les boissons d'hydratation à l'effort sont préférables et possèdent plusieurs intérêts : elles luttent contre l'hypovolémie, combattent l'élévation de la température corporelle, véhiculent de l'énergie aux cellules et retardent la survenue de la fatigue. Les boissons de réhydratation du commerce ont souvent un goût agréable qui favorise l'envie de boire. Il faut veiller à ce qu'elles soient isotoniques ou hypotoniques et qu'elles contiennent au moins des glucides (dont la concentration ne devra pas dépasser 8 %) et du sodium (pas plus de 1,2 g par litre). Les glucides devront être des polymères du glucose ou des maltodextrines car ils permettent d'augmenter l'absorption intestinale de l'eau et du sucre. Il est possible de se confectionner soit même sa boisson d'effort avec du sucre de table encore appelé saccharose (30 à 60 g/l), du sel (1,2 g/l au maximum) et un peu de sirop pour donner un goût agréable. Les sodas et jus de fruits sont trop concentrés en glucides et il n'est pas conseillé de les utiliser comme boisson d'effort. Si le sportif tient absolument à en utiliser, il devra les diluer.

Il est important de tester sa boisson d'effort pendant l'exercice physique (en période d'entraînement par exemple) et non au repos. En effet, une boisson peut paraître imbuvable au repos et peut se révéler très agréable à boire pendant l'exercice. Le contraire peut aussi être possible.

Avant de commencer une épreuve, le sujet sportif devra se trouver en état de normohydratation. Pour se faire, la veille et avant le départ, on conseille de boire régulièrement plusieurs gorgées d'eau par heure. Ceci permet d'assimiler l'eau correctement.

Boire de grandes quantités d'eau à la fois entrainera une augmentation de la diurèse et provoquera un inconfort digestif sans permettre une hydratation optimale des cellules.

Pendant l'épreuve, le sportif devra boire avant d'avoir soif, nous avons vu que la sensation de soif n'était pas un bon indicateur de l'état d'hydratation. Pour une hydratation optimale, l'ingestion de boisson d'effort devra se faire toutes les 15 à 30 minutes. Il est préférable d'ingérer des volumes adaptés à la tolérance individuelle. Il est conseillé de consommer un minimum de 0,5 litre par heure d'effort. En atmosphère chaude, cette consommation pourra atteindre 1 litre par heure.

Après l'effort, il est primordial de ne pas négliger la phase de récupération afin d'éviter la fatigue, les crampes et les douleurs musculaires. Même si l'hydratation pendant l'effort est effectuée correctement, une déshydratation post exercice est toute fois inévitable. L'eau pure n'est pas la meilleure solution pour remplacer les pertes hydriques. Une boisson de récupération doit contenir des glucides pour restaurer son stock énergétique, du sodium (50 mmol/l) pour compenser les pertes sudorales et un peu de potassium. Durant la phase de récupération, les pertes urinaires sont incontournables. L'eau ingérée ne sert pas qu'à hydrater en profondeur nos cellules, une partie va être utilisée pour éliminer les déchets métaboliques et sera donc éliminée par voie urinaire. Le volume de boisson consommé devra donc être plus important que les pertes sudorales, soit environ 150 % de celles-ci. Là encore, la boisson devra être attractive pour inciter à la consommation.

3.4.5. Détermination du niveau d'hydratation. [39], [45].

Il est important pour un sportif de pouvoir déterminer lui-même son état d'hydratation. Cela permet de corriger si besoin ses apports hydriques ultérieurement.

Voici les principaux indicateurs qui permettront de mettre en place une stratégie d'hydratation efficace :

- Il faut tout d'abord observer si l'on a tendance à transpirer beaucoup ou non. Transpirer beaucoup permet de bien réguler sa température mais les apports hydriques devront être adaptés en conséquence.

- Goûter sa sueur peut être un moyen de déterminer ses pertes en sodium. Si elle a un goût très salé, cela veut dire que l'on élimine beaucoup de chlorure de sodium. Il faudra faire attention à l'apport en sodium pour compenser les pertes.
- La pesée avant et après l'entraînement permet d'évaluer si les pertes hydriques ont suffisamment été compensées. Il ne faut cependant pas oublier d'ajouter la quantité d'eau que l'on va ingérer durant l'effort. Si la perte de poids est supérieure à 2 % (soit une perte allant de 1,5 à 2 kg pour un homme), cela signifie que l'hydratation pendant l'exercice était insuffisante. Une pesée régulière permet de déceler une déshydratation chronique.
- La couleur des urines peut être un bon indicateur, il est néanmoins à manipuler avec précaution. Une urine claire est synonyme d'une bonne hydratation. Cependant, si l'on boit une quantité importante de boisson d'un seul coup, les urines seront abondantes et claires mais les tissus ne seront pas hydratés en profondeur. En buvant de petites quantités régulièrement, les urines seront plus foncées et moins abondantes mais l'hydratation sera de meilleure qualité.

3.4.6. Hyperhydratation et glycérol. [33], [39], [42].

Comme l'hydratation joue un rôle capital dans les performances sportives, certains se sont penchés sur l'intérêt de commencer une épreuve en état d'hyperhydratation. En effet, on comprend facilement l'intérêt qu'il y aurait pour prévenir la déshydratation au cours de l'effort. Cependant cela paraît difficilement réalisable. Boire abondamment avant le départ entraînerait une augmentation importante de la diurèse, ce qui serait plutôt gênant pendant l'effort. Plutôt que de chercher à être en hyperhydratation, il paraît plus judicieux de chercher à favoriser la rétention d'eau. C'est l'un des rôles de l'ajout de sodium.

Certains chercheurs se sont intéressés au glycérol. Ils ont pu démontrer que le glycérol ingéré avant les épreuves permet d'obtenir un état d'hyperhydratation. En effet ce dernier réduit la diurèse par effet osmotique. L'eau est moins éliminée par la vessie et peut ainsi être stockée de façon plus importante dans l'organisme. Le glycérol permet une rétention hydrique deux fois supérieure à celle obtenue par la prise d'eau seule. Il permet aussi d'améliorer les performances sportives par la diminution de la sensation de pénibilité à l'effort ou à la chaleur. Cette notion amène à penser qu'il faut utiliser le glycérol avec

prudence car son excès pourrait pousser les sportifs à dépasser leurs limites sans ressentir les signes d'alerte. Les conséquences sur la santé pourraient être dangereuses. C'est d'ailleurs à cause de cela que la question se pose de classer le glycérol comme une substance dopante. De plus, il a été démontré qu'une boisson à base de glycérol, du fait de son osmolarité élevée, entraîne des troubles digestifs pendant l'effort physique.

A l'heure actuelle, on conseille donc de n'utiliser le glycérol que dans des situations où les conditions climatiques seraient susceptibles d'entraîner une déshydratation importante et où l'accès à une hydratation suffisante est difficile. Il est préconisé d'ingérer 1 g de glycérol par kg de poids, dilué dans environ 1,5 l d'eau. Cependant, à cause de ses effets irritants sur le plan digestif, on recommande de débiter avec une ou deux cuillères à café de glycérol mélangées à 1,5 l d'eau, puis d'augmenter progressivement les doses jusqu'à arriver à 1 g par kg de poids corporel.

3.5. Les apports en minéraux et oligoéléments.

Les minéraux et oligoéléments sont des substances indispensables au bon fonctionnement du métabolisme.

Leurs rôles au sein de l'organisme sont multiples : contractions musculaires, transmission de l'influx nerveux, et ce sont également des cofacteurs dans de nombreuses réactions enzymatiques.

Chez le sportif nous n'étudierons que les minéraux et oligoéléments les plus importants.

Ainsi parmi les macroéléments nous allons voir le sodium, le potassium, le magnésium, le calcium et le fer.

Parmi les oligoéléments, nous allons nous intéresser au zinc, cuivre, chrome, sélénium et iode.

3.5.1. Le sodium. [25], [29], [45].

Le sodium est le minéral le plus abondant du liquide extracellulaire. Il contribue à la contraction musculaire, l'équilibre hydrominéral, la perméabilité cellulaire et intervient dans certains mécanismes de l'absorption intestinale.

Pendant un effort physique, le sportif perd de grandes quantités de sodium via la transpiration.

Durant la pratique sportive, l'apport en chlorure de sodium dans la boisson n'a pas de réel intérêt sur la performance par rapport à l'utilisation d'eau seule. Par contre cela entraîne une meilleure rétention hydrique permettant de lutter contre la baisse du volume plasmatique et ainsi contre la déshydratation. Cela permet aussi de prévenir une hyponatrémie qui pourrait survenir au cours d'exercices de très longue durée.

Pendant la phase de récupération, l'apport de sodium permet de rétablir plus rapidement l'équilibre hydrominéral.

Pour les sportifs, les apports journaliers sont identiques à ceux de la population générale. Les apports en chlorure de sodium doivent être couverts par une alimentation variée et équilibrée. Les besoins sont d'environ 5 g /jour.

Pendant un effort, l'apport en sodium peut dans certains cas être utile. Pour les exercices physiques de moins d'une heure, l'apport en sodium n'est pas nécessaire. Pour les efforts physiques allant au-delà d'une heure, un apport est recommandé, surtout pour des efforts de plus de trois heures et/ou effectués en ambiance chaude et humide. Dans ce cas on conseille un apport en sodium de 1,2 g/l au maximum. Cet apport sera apporté en utilisant du sel (chlorure de sodium) par le biais de la boisson. Les apports sous forme de pastilles de sel sont très fortement déconseillés car ils aggravent la déshydratation, provoquent des troubles digestifs et cardiaques. Un apport sera également conseillé dans la boisson de récupération, mais ce dernier sera pour moitié en chlorure de sodium et pour l'autre moitié sous forme d'un

autre sel de sodium tel que l'acétate ou le citrate de sodium. Cela permet d'améliorer la palatabilité de la boisson.

3.5.2. Le potassium. [25], [29], [45].

Le potassium est surtout présent dans le milieu intracellulaire. Tout comme le sodium, il participe à l'équilibre hydrominéral, la contraction musculaire, la transmission de l'influx nerveux et au métabolisme protéique. Son élimination est surtout rénale et il est peu éliminé par la sueur.

Les besoins journaliers en potassium sont de 1 à 1,5 g/jour.

Du fait de sa faible élimination par la transpiration, l'apport en sel de potassium dans la boisson d'effort n'est pas nécessaire. Une alimentation variée et équilibrée suffit à couvrir les besoins. Par contre pour une activité physique très prolongée et effectuée sous climat chaud, un apport en potassium sous forme d'un sel et à hauteur de 0,4 g/l est conseillé.

3.5.3. Le magnésium. [25], [29], [45].

Le magnésium est majoritairement présent dans le milieu intracellulaire. Il participe à la contraction musculaire et cardiaque. Il entre dans la structure moléculaire en tant que cofacteur de plus de 300 enzymes intervenant dans le métabolisme énergétique et les processus de synthèse. Entre autre, il intervient dans la resynthèse de l'ATP catalysée par la créatine kinase, dans l'activation d'enzymes de la glycolyse et du cycle de Krebs. Il est aussi nécessaire à la transmission neuronale.

Les besoins en magnésium sont de 300 à 350 mg par jour.

Son élimination se fait par les matières fécales et urinaires.

Même si une diminution du taux plasmatique en magnésium peut être observée après un effort intense en ambiance chaude, une supplémentation en magnésium n'est pas nécessaire chez les sportifs. Ces hypomagnésémies sont temporaires et résulteraient d'une redistribution au sein de l'organisme durant l'effort physique. Une alimentation variée et équilibrée suffit à couvrir les besoins.

3.5.4. Le calcium. [25].

Le calcium est le principal constituant des os et des dents. Il possède néanmoins d'autres rôles. Il participe à la contraction musculaire, l'excitabilité neuromusculaire, la conduction nerveuse, la coagulation sanguine et l'activation de nombreuses enzymes.

Les besoins journaliers en calcium sont de 500 mg à 1,2 g.

L'élimination se fait par voie urinaire et fécale. L'activité sportive augmente les pertes urinaires, mais permet aussi de consolider les os et d'augmenter la rétention du calcium. Les besoins en calcium pour la population sportive sont généralement élevés. Plusieurs études ont permis de montrer que la population sportive française, surtout pour les sports d'endurance, avait des apports en calcium inférieurs aux apports nutritionnels conseillés, les femmes étant plus touchées que les hommes. La consommation de produits laitiers, en particulier les laitages à raison de trois par jour, suffit pour couvrir les besoins.

3.5.5. Le fer. [25], [45].

Le fer est l'un des éléments constituant les globules rouges. Il sert à fabriquer l'hémoglobine qui assure le transport de l'oxygène à l'ensemble de l'organisme. Il entre également dans la composition de la myoglobine, protéine musculaire permettant de capter l'oxygène apporté par les globules rouges pour les délivrer aux cellules musculaires.

On comprend le rôle important du fer chez le sportif du fait de sa place dans le transport de l'oxygène. Toute baisse du taux de globules rouges, d'hémoglobine ou de fer se

traduit par une moindre capacité à transporter l'oxygène et donc par une baisse des performances sportives. C'est d'ailleurs pour cette raison que certains sportifs pratiquent le dopage par ingestion ou perfusion de fer, par perfusion de globules rouges ou par injection d'érythropoïétine.

Les apports conseillés en fer sont de 15 à 20 mg par jour.

L'élimination du fer se fait par voie urinaire et sudorale. La pratique sportive peut entraîner des lésions digestives et des hémorragies souvent minimes. Cela conduit à une perte de fer.

La plupart des sportifs ont des apports en fer suffisants. Ce n'est pas le cas de tous, et surtout pour les femmes.

Chez les sportifs ayant un déficit en fer, et ce quelque soit la cause, un apport en fer est nécessaire et complètement légal. La complémentation se fait par des apports alimentaires suffisants et par des apports médicamenteux pendant au moins un mois. La dose prescrite est de l'ordre de 100 mg/j de fer ferreux. Le suivi médical est indispensable.

Chez les sportifs ne présentant pas de carence en fer, l'apport en fer au-delà des apports nutritionnels conseillés n'est pas recommandé et peut être dangereux. Il y a un risque de développer un infarctus du myocarde ou certains cancers. Cependant, ces risques restent encore discutés du fait de l'absence d'études épidémiologiques.

3.5.6. Le zinc. [25], [29], [45].

Le zinc est l'oligoélément le plus important, en terme de quantité, dans les tissus. Il a un pouvoir antioxydant puisqu'il est le cofacteur d'une isoforme de la superoxyde-dismutase, enzyme anti-radicalaire. Il intervient aussi dans le métabolisme glucidique, protéique et lipidique. Il est également important dans la croissance et le développement des organes (surtout musculaires).

L'élimination du zinc se fait majoritairement par voie fécale, mais aussi par voie sudorale. Son élimination est proportionnelle à la perte en sueur. L'activité physique, par les lésions musculaires qu'elle entraîne, provoque une perte de zinc. Les besoins sont donc augmentés chez les sportifs. Même si un effort musculaire entraîne un déficit en zinc, le retour à la normale s'observe au bout de trois jours de récupération.

On conseille donc de ne pas supplémenter les sportifs, mais de veiller à ce qu'ils aient une alimentation variée et équilibrée de façon à couvrir les besoins.

3.5.7. Le cuivre. [25], [29], [45].

Le cuivre est un autre cofacteur d'activation de la superoxyde-dismutase. Il est donc un élément anti-radicalaire. Cependant, sous sa forme libre, le cuivre est un facteur pro-oxydant. Il produit des radicaux libres.

Durant un effort musculaire, les pertes sudorales en cuivre peuvent être élevées. Mais ceci est en partie compensé par une moindre fuite urinaire. L'alimentation peut jouer un rôle sur l'absorption du cuivre au niveau intestinal. Les glucides à index glycémique élevé tendent à diminuer son absorption, ce qui peut être considéré comme un facteur de risque de subcarence.

Actuellement, aucune carence en cuivre n'a pu être observée dans la population sportive. Une bonne compensation hydrique et énergétique suffit à équilibrer le bilan cuprique.

3.5.8. Le chrome. [29], [41].

Le chrome est un cofacteur de l'insuline. Il intervient donc dans la régulation de la glycémie et du métabolisme glucidique. C'est la raison pour laquelle le chrome est important chez les sportifs.

Au cours de l'activité sportive, seules les pertes urinaires sont augmentées. Des études ont été effectuées sur l'augmentation des apports en chrome chez le sportif. Le but était de savoir si cela avait une influence sur l'augmentation de la sécrétion d'insuline et ainsi sur les réserves en glycogène. Mais rien de concluant n'a pu être démontré.

Actuellement, aucune recommandation n'est faite sur le chrome. Il semble que les besoins soient naturellement couverts.

3.5.9. Le sélénium. [45].

Le sélénium est un cofacteur de la glutathion peroxydase. Il participe donc à la neutralisation des peroxydes d'hydrogène. Il aide donc au maintien de l'intégrité membranaire, particulièrement au cours des efforts physiques.

Il est peut être abondamment éliminé par voie sudorale au cours de l'exercice physique. Mais une diminution des quantités de sélénium n'a pas d'influence sur les performances en endurance.

Cependant, à l'heure actuelle, chez les sportifs dont il a été prouvé un déficit en sélénium, on conseille d'augmenter les apports en sélénium en période d'entraînement. Cela aide à lutter contre le stress oxydant que nous étudierons dans un prochain paragraphe.

3.5.10. Le manganèse. [45].

Le manganèse est lui aussi l'un des cofacteurs de la superoxyde-dismutase. Il lutte ainsi contre la production de radicaux libres produits à l'exercice. Aucun déficit en manganèse n'a pu être observé à ce jour dans la population sportive. Une augmentation des apports en manganèse n'est donc pas recommandée.

3.5.11. L'iode. [25], [45].

L'iode sert à synthétiser les hormones thyroïdiennes. Son élimination se fait par voie sudorale au cours de l'exercice, et les pertes sont proportionnelles au débit sudoral. Mais aucune recommandation ne va dans le sens d'une supplémentation en iode chez les sportifs. Les apports nutritionnels conseillés, qui sont de 150 mg/j, sont couverts grâce à une alimentation variée et équilibrée.

3.6. Les apports en vitamines. [29], [45].

En temps que cofacteur enzymatique, certaines vitamines peuvent avoir un rôle à jouer dans l'alimentation du sportif. Certains auteurs se sont penchés notamment sur l'importance que pourrait avoir les vitamines dites « énergétiques » (vitamines B₁, B₂, B₆) et les vitamines dites « anti-oxydantes » (vitamines C, E et les β-carotènes). Nous nous attarderons dans un autre paragraphe sur le rôle que peuvent avoir les vitamines anti-oxydantes sur les phénomènes radicalaires.

D'une façon générale, les besoins en vitamines doivent être suffisants pour ne pas altérer la santé et la performance sportive. Ils doivent également permettre la protection cellulaire durant un effort physique et aider à la réparation cellulaire durant la récupération.

Les vitamines hydrosolubles du groupe B ont un rôle dans le métabolisme énergétique :

- La vitamine B₁ (thiamine) intervient dans la glycolyse, elle catalyse la transformation du pyruvate en acétyl-CoA, mais elle intervient aussi dans le catabolisme des acides aminés branchés,
- La vitamine B₂ (riboflavine), intervient dans l'oxydation du pyruvate et des acides gras,

- La vitamine B₆ intervient dans la glycogénolyse et dans l'utilisation des acides aminés. Ses besoins sont d'ailleurs exprimés en fonction des besoins en protéines.

Du fait de l'augmentation des activités enzymatiques et de la baisse d'absorption des vitamines à l'exercice, les besoins en vitamines du groupe B devraient être augmentés pour la population sportive. Mais les études épidémiologiques ne montrent pas la nécessité absolue de l'augmentation des besoins chez les sportifs. Cependant, on a pu mettre en évidence qu'un déficit en vitamine B₁, B₂ et B₃ entraîne une baisse des performances. Les capacités à l'effort sont restituées dès que la subcarence est compensée. Mais leurs apports en excès n'améliorent pas les performances chez les sujets n'étant pas en état de subcarence.

Chez les sportifs d'endurance pratiquant une activité intense et répétée (plus de trois heures par semaine), les besoins en vitamines du groupe B sont légèrement augmentés. Néanmoins, il semble qu'en France les besoins vitaminiques soient couverts dans la grande majorité. Les apports doivent se faire en priorité par une alimentation variée et équilibrée, au besoin par des aliments destinés aux sportifs.

III. Radicaux libres, stress oxydatif et sport. [29], [45].

1. Définition des radicaux libres et du stress oxydatif.

Les radicaux libres sont des molécules ou des atomes possédant un électron libre. De ce fait, ces éléments sont très réactifs. L'électron libre a une capacité à se rapprocher avec un électron d'une molécule voisine. Cette dernière devient alors à son tour un radical libre. Ce phénomène entraîne une réaction en chaîne aboutissant à la formation d'une grande quantité de radicaux libres.

Il existe plusieurs types de radicaux libres. Les principaux sont l'anion superoxyde O_2° et le radical hydroxyl OH° . On parle de radicaux libres oxygénés.

Le processus de formation des radicaux libres est physiologique. Ils sont produits notamment au cours des processus inflammatoires de l'organisme, et permettent de lutter contre les agressions microbiennes. Ils sont produits par de nombreuses autres réactions biochimiques au sein des mitochondries, des cellules de la peau ou encore de l'œil.

Si les radicaux libres peuvent avoir des effets bénéfiques pour l'organisme, produits en trop grande quantité, ils peuvent avoir des effets néfastes. Ils provoquent un vieillissement cellulaire par détérioration des acides nucléiques et des membranes cellulaires. Ils oxydent les acides gras insaturés des phospholipides membranaires. Des systèmes enzymatiques sont capables de les détruire. Ainsi lorsque l'organisme n'est plus capable de contrôler la formation de radicaux libres et que les systèmes enzymatiques protecteurs sont dépassés, on parle alors de stress oxydatif. Plus l'effort est prolongé et intense, plus le phénomène de stress oxydatif est important.

2. Les systèmes de dégradation des radicaux libres.

L'organisme possède des systèmes enzymatiques de défense contre les radicaux libres :

- Les superoxydes dismutases. Elles transforment l'anion superoxyde en peroxyde d'hydrogène. Elles se divisent en deux groupes : celles à manganèse se trouvant dans les mitochondries et celles à cuivre et zinc se trouvant dans le cytoplasme cellulaire.
- Les catalases et les glutathion peroxydases à sélénium. Elles transforment le peroxyde d'hydrogène en oxygène et en eau.

Certaines molécules contenues dans les aliments peuvent piéger les radicaux libres : la vitamine E, la vitamine C, le β -carotène. Ces molécules captent l'électron libre transformant ainsi les radicaux libres en molécules ou ions stables.

Le glutathion, qui est une molécule endogène, permet d'agir contre les radicaux libres en les piégeant grâce à son oxydation. Il sera régénéré via une glutathion réductase.

Le sélénium et le zinc sont des oligo-éléments antioxydants. Le sélénium est un cofacteur de la superoxyde dismutase et potentialise l'action de la vitamine E. Le zinc permet la stabilisation de la superoxyde dismutase.

La production importante de radicaux libres sous l'influence de facteurs externes tels que le soleil, le tabac, l'alcool ou la pollution, saturent les systèmes de défense. Des besoins non couverts en vitamines ou en oligo-éléments, ou encore une baisse d'activité des systèmes enzymatiques engendrent les mêmes effets. Les radicaux libres non détruits auront des effets délétères sur les tissus.

3. Sport et radicaux libres.

L'effort physique est source de radicaux libres. Trois phénomènes entrent en jeu : l'augmentation de la consommation en oxygène, le processus d'ischémie-reperfusion et la formation de microlésions musculaires.

L'exercice physique entraîne une augmentation des dépenses énergétiques. Par conséquent, on observe une augmentation du métabolisme énergétique et de la consommation d'oxygène. Les mitochondries du muscle squelettique produisent alors une grande quantité de radicaux libres de l'oxygène.

L'effort musculaire induit une redistribution des débits sanguins. Certaines zones de l'organisme sont moins irriguées que d'autres. C'est le cas du tube digestif, des reins et de certaines zones musculaires squelettiques. A l'arrêt de l'exercice, ces tissus sont vite reperfusés, entraînant la production de radicaux libres.

Les efforts musculaires entraînent des microlésions au sein du muscle. Ces dernières engendrent un processus inflammatoire très producteur de radicaux libres. Ce sont les cellules

de défense de l'organisme tels que les monocytes, lymphocytes, macrophages et polynucléaires neutrophiles qui sont responsables de cette forte production.

On a pu démontrer les effets bénéfiques de l'entraînement sur la capacité de l'organisme à se défendre. Les capacités anti-oxydantes des superoxydes dismutases, catalases et glutathion sont augmentées à l'entraînement, permettant ainsi de protéger les muscles.

4. La supplémentation en antioxydants chez les sportifs. [29].

4.1. Les apports en vitamines anti-oxydantes.

4.1.1. La vitamine E.

La pratique sportive régulière augmente les besoins en vitamine E. Le déficit en cette vitamine semble favoriser l'apparition de microlésions musculaires. Chez les sujets déficients, la supplémentation en vitamine E paraît judicieux, par contre on ne sait pas si la supplémentation chez les sujets non déficients est utile dans la prévention des lésions liées à l'exercice.

Bien que la vitamine E soit indispensable pour la stabilisation membranaire, la supplémentation en vitamine E n'a aucune influence sur les performances sportives chez les sportifs ayant des apports suffisants en vitamine E.

4.1.2. La vitamine C.

Très peu d'études ont été menées sur l'intérêt d'une supplémentation en vitamine C dans la prévention des conséquences musculaires provoquées par le stress oxydatif. Par contre l'association vitamine E et vitamine C montre un intérêt particulier. La vitamine C permet de régénérer plus facilement la vitamine E par activation de la glutathion réductase.

4.2. Les apports en oligo-éléments antioxydants.

Les oligo-éléments antioxydants les plus importants sont au nombre de trois : le zinc, le cuivre et le sélénium. Tous sont des activateurs des systèmes enzymatiques protecteurs contre les radicaux libres (les superoxyde dismutases, les catalases et les glutathions peroxydases).

4.2.1. Le zinc.

C'est un cofacteur de la superoxyde dismutase ce qui explique son importance dans la lutte anti-radicalaire. L'exercice musculaire entraîne des microlésions qui auront pour conséquence une fuite de zinc. Le zinc est aussi éliminé par la sueur et par voie urinaire après l'exercice. Mais en général les sportifs n'ont pas de carences en zinc et leurs besoins sont couverts par une alimentation variée et équilibrée. Pour les sportifs pratiquant des sports de très longue durée comme le triathlon par exemple, un petit apport en zinc dans une boisson d'effort est préférable au vu des pertes sudorales et des microlésions musculaires qu'un tel effort entraîne.

4.2.2. Le cuivre.

Le cuivre est lui aussi un cofacteur de la superoxyde dismutase. L'exercice a pour effet de déplacer le cuivre sous sa forme libre qui elle est pro-oxydante. Cela augmente le risque de production de radicaux libres.

L'entraînement a pour effet d'augmenter l'activité de la cuivre-zinc-superoxyde dismutase, ce qui est un facteur de protection contre le stress oxydatif.

Même si les pertes sudorales peuvent être importantes au cours d'un effort, il ne semble pas que les apports nutritionnels conseillés doivent être augmentés pour la population sportive.

4.2.3. Le sélénium.

Le sélénium est un cofacteur de la glutathion peroxydase. Il est lié au site actif de l'enzyme, ce qui le rend indispensable dans la lutte anti-radicalaire.

Chez les sujets carencés on observe une diminution des défenses immunes. La supplémentation permet de corriger les déficits immunitaires et de prévenir le risque de développer une pathologie infectieuse.

Chez les sportifs non carencés, une supplémentation en sélénium n'est pas nécessaire.

5. Conclusion sur les apports nutritionnels recommandés en vitamines et oligo-éléments chez les sportifs.

Chez les sportifs pratiquant une activité modérée une à trois fois par semaine, les apports en antioxydants ne doivent pas être augmentés par rapport à la population générale.

Pour les sportifs pratiquant une activité physique intense, certains apports sont à augmenter.

Les besoins en vitamine E sont augmentés. On conseille des doses nutritionnelles pour éviter tout risque hémorragique. Pour se faire, les apports doivent se faire en priorité par une alimentation variée et équilibrée.

Du fait de sa faculté à favoriser la régénération de la vitamine E et de sa propriété antioxydante, les apports en vitamine C peuvent être augmentés.

En ce qui concerne le zinc, les apports pourraient être légèrement augmentés. Mais il semble qu'un apport quotidien suffisant d'une portion de viande ou de poisson suffirait.

Les besoins en sélénium sont proches de ceux de la population générale soit 60 mg/j, alors que l'on observe une activité maximale de la glutathion peroxydase pour des apports de 90 mg/j. Chez les sportifs de haut niveau, la séléniémie pourra être surveillée de près pour ajuster les apports si besoin. Pour les autres sportifs, une alimentation équilibrée et proportionnelle aux dépenses énergétiques suffit pour couvrir les besoins en sélénium.

Enfin, pour le cuivre, comme aucune étude n'a été réalisée sur le sujet, les apports nutritionnels conseillés sont ceux de la population générale.

TROISIEME PARTIE : Le sport et les compléments alimentaires.

Il existe sur le marché un bon nombre de compléments alimentaires destinés aux sportifs. Certains apportent un réel intérêt, notamment pour augmenter les capacités d'endurance à l'effort.

I. Définition légale des compléments alimentaires. [49].

Depuis des années, un flou juridique existait à propos des compléments alimentaires. Ceci représentait un réel danger pour les consommateurs. En effet de nombreuses dérives étaient possibles.

Depuis le 10 juin 2002, une directive européenne donne avec précision une définition des compléments alimentaires. Cette directive a été transposée en droit français en mars 2006. D'après le décret n° 2006-352 du 20 mars 2006 relatif aux compléments alimentaires, on entend par compléments alimentaires, « les denrées alimentaires dont le but est de compléter le régime alimentaire normal et qui constituent une source concentrée de nutriments ou d'autres substances ayant un effet nutritionnel ou physiologique seuls ou combinés, commercialisés sous forme de doses, à savoir les formes de présentation telles que les gélules, les pastilles, les comprimés, les pilules et autres formes similaires, ainsi que les sachets de poudre, les ampoules de liquides, les flacons munis d'un compte-gouttes et les autres formes analogues de préparations liquides ou en poudre destinées à être prises en unités mesurées de faible quantité ».

Ce décret précise également ce que sont les nutriments : les vitamines et les minéraux dont la liste et les caractéristiques sont fixées par arrêté.

On entend par substance à but nutritionnel ou physiologique, les substances chimiquement définies comme possédant des propriétés nutritionnelles ou physiologiques, à l'exception des nutriments définis précédemment et des substances possédant des propriétés exclusivement pharmacologiques. Ces substances devront déjà avoir fait l'objet d'une autorisation d'emploi dans les denrées alimentaires destinées à une alimentation particulière.

Ainsi, d'après cette définition, les compléments alimentaires sont placés par les autorités dans le domaine alimentaire et leur imposent les mêmes règles.

II. Les substances autorisées. [48], [49].

Les compléments alimentaires peuvent contenir des vitamines, des sels minéraux, des oligoéléments, des plantes ou extraits de plantes, des acides aminés, des protéines, des enzymes ou des hormones. Cependant, d'un point de vue légal, seuls les minéraux, les vitamines et les plantes sont définis sur des listes de substances autorisées.

L'Europe a autorisé l'usage de quinze minéraux et de treize vitamines :

- Calcium, chlorures, chrome, cuivre, fer, fluor, iode, magnésium, manganèse, molybdène, phosphore, potassium, sélénium, sodium et zinc. Cependant, suite à un avis de l'agence française de sécurité sanitaire des aliments, les compléments alimentaires ne doivent pas contenir de sels de fluor, même si ce minéral est sur la liste des substances autorisées.

- Vitamines A, B1, B2, B3, B5, B6, B8, B9, B12, C, D, E et K.

L'union européenne définit leurs critères de pureté ainsi que les formes chimiques autorisées. Leurs dosages doivent rester dans les limites de sécurité et ne doivent jamais dépasser le triple des apports journaliers recommandés. De plus, les dosages doivent être inférieurs à ceux utilisés dans les médicaments contenant ces mêmes substances.

Pour ce qui est des plantes autorisées, certains critères ont été définis. Elles doivent posséder des effets nutritionnels ou physiologiques qui ne les font pas entrer dans la catégorie des plantes ayant des propriétés thérapeutiques. Si tel est le cas, elles font alors partie du monopole pharmaceutique et sont donc considérées comme un médicament et ne peuvent être utilisées dans un complément alimentaire.

Ainsi, les plantes autorisées peuvent soit faire partie des trente-quatre plantes dont la vente libre est autorisée par le décret de 1979 (bardane, bouillon-blanc, bourgeon de pin, bourrache, bruyère, camomille, chiendent, cynorrhodon, eucalyptus, frêne, gentiane, guimauve, hibiscus, houblon, lavande, lierre terrestre, matricaire, mauve, mélisse, menthe, ményanthe, olivier, oranger, ortie blanche, pariétaire, pensée sauvage, pétales de rose, queue de cerise, reine des prés, feuilles de ronce, sureau, tilleul, verveine, et violette), soit être

traditionnellement utilisées dans l'alimentation, soit bénéficié d'une autorisation européenne en tant qu'ingrédient alimentaire nouveau.

Lorsqu'un fabricant veut intégrer dans la composition d'un complément alimentaire une substance encore non autorisée en France, il doit en faire part à la direction générale de la concurrence de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF).

La DGCCRF a alors deux mois pour indiquer son refus. Cependant tout refus doit être motivé par un risque réel pour la santé publique, basé sur des éléments scientifiques. Une absence de réponse dans ce délai équivaut à une autorisation. La DGCCRF peut demander son avis à l'agence française de sécurité sanitaire des aliments. Si aucun avis ne remet en question l'innocuité de la nouvelle substance, alors elle sera inscrite sur la liste des ingrédients autorisés douze mois après sa première commercialisation.

Pour résumer, il n'est plus question pour les fabricants d'employer telle ou telle substance sous prétexte qu'elle est naturelle. Désormais, chaque ingrédient doit faire partie de ceux autorisés, et être présent à une dose définie.

III. Les substances interdites. [48], [49].

Le décret interdit la commercialisation de compléments alimentaires contenant « des substances possédant des propriétés exclusivement pharmacologiques » et « des plantes ou des préparations de plantes possédant des propriétés pharmacologiques et destinées à un usage exclusivement thérapeutique ».

IV. Différences entre compléments alimentaires et médicaments.

A l'inverse des médicaments, les compléments alimentaires ne sont pas soumis aux règles d'autorisation de mise sur le marché, et ne peuvent donc pas prétendre prévenir, soulager, traiter ou guérir des maladies.

Parfois, médicaments et compléments alimentaires peuvent contenir des substances communes. C'est le cas pour certaines vitamines, minéraux, acides aminés ou plantes. Mais comme nous l'avons dit précédemment, les compléments alimentaires doivent contenir des dosages inférieurs à ceux des médicaments correspondants.

Enfin, si de nombreux médicaments sont remboursés par l'assurance maladie, les compléments alimentaires ne le sont jamais.

V. Etiquetage des compléments alimentaires. [46], [48].

Les réglementations européenne et française imposent certaines règles en matière d'étiquetage des compléments alimentaires. Certaines allégations sont obligatoires sur l'emballage et la notice, d'autres sont interdites. Les conseils d'hygiène de vie sont quant à eux autorisés.

1. Définition d'une allégation.

Une allégation se définit par tout message (un texte par exemple), qui affirme, suggère ou implique qu'une denrée ou un complément alimentaire possède des caractéristiques nutritionnelles particulières ou procure des bénéfices en termes de santé.

Il existe différents types d'allégations : nutritionnelles, fonctionnelles, relatives au risque de maladie et relatives à la croissance des enfants.

Les allégations dites nutritionnelles font références aux propriétés nutritionnelles bénéfiques du produit comme par exemple « riche en vitamine C ».

Les allégations dites fonctionnelles sont celles qui revendiquent un lien avec la santé comme par exemple : « aide à soutenir l'organisme afin d'éviter la fatigue et la déshydratation ». Ce sont les allégations le plus souvent rencontrées.

Les allégations relatives au risque de maladies sont celles qui revendiquent un effet préventif par rapport au risque de développer une maladie comme par exemple les maladies cardiovasculaires.

Enfin, les allégations relatives à la croissance des enfants concernent celles qui font référence aux éventuels bénéfices sur la santé et le développement des enfants.

2. Les allégations obligatoires.

Avant toute chose, le terme de « complément alimentaire » doit paraître sur l'emballage.

La liste complète des ingrédients ainsi que le nom des familles de nutriments utilisés est obligatoire. Tout comme pour les aliments, les nutriments doivent être mentionnés par ordre décroissant en quantité. Les quantités de nutriments doivent être indiquées en pourcentage de l'apport journalier recommandé pour une dose quotidienne.

Les ingrédients susceptibles de provoquer une réaction allergique doivent être mentionnés.

La dose quotidienne conseillée doit être inscrite ainsi que la dose maximale quotidienne et les risques éventuels en cas de dépassement de ces doses. Un mode d'emploi doit être associé ainsi que des conseils d'utilisation.

Toutes les informations obligatoires pour les aliments doivent y figurer comme par exemple le numéro de lot, la date de péremption et les informations sur les conditions de conservation.

De plus, les fabricants ont également obligation d'indiquer que le complément ne peut se substituer à une alimentation normale. Enfin, l'avertissement « A tenir hors de portée des enfants » est obligatoire.

3. Les allégations facultatives ou interdites.

Les fabricants sont incités à donner des conseils d'hygiène de vie pouvant renforcer les effets du complément.

Il leur est interdit de suggérer qu'une alimentation variée et équilibrée ne constitue pas une source suffisante de nutriments.

Les allégations thérapeutiques concernant la prévention et le traitement des maladies humaines sont interdites.

VI. Les produits de l'endurance.

Les principales formes de produits pour sportifs sont des comprimés ou gélules, des barres de céréales, des boissons prêtes à l'emploi ou des préparations sous forme de poudre à reconstituer au dernier moment et enfin des préparations pour fabriquer soit même des gâteaux énergétiques.

Les produits de l'effort sont classés en trois thèmes : avant, pendant et après l'effort.

Les produits destinés à être ingérés avant l'effort permettent d'aider à aborder l'épreuve avec des réserves en glycogène maximales. C'est le cas par exemple des gâteaux énergétiques. Ce genre de produit est à utiliser dans les trois jours qui précèdent l'épreuve. Ils sont riches en glucides lents et sont à prendre à chaque repas en complément de la ration de féculents recommandée.

D'autres produits s'utilisent sur le long terme, trente jours avant une épreuve. Ce sont en général des produits destinés à limiter la fatigue musculaire et les crampes. On y retrouve des vitamines et minéraux ainsi que des plantes drainantes et vasculo-protectrices comme la vigne rouge par exemple. D'autres vont aider à limiter les effets du stress oxydatif grâce à des produits antioxydants.

Ces produits peuvent être utiles mais ils ne me semblent pas indispensables. Une alimentation variée et équilibrée devrait suffire à combler ce type de besoins. Quant aux préparations visant à augmenter les réserves en glycogène, cela ne me paraît pas indispensable également. Une alimentation ciblée comme nous avons pu le voir précédemment me semble suffisante.

Les produits à utiliser durant l'effort ont quant à eux un réel intérêt. Ils sont présentés sous forme de boissons prêtes à l'emploi ou à reconstituer avant de partir (poudres). Ils aident à limiter le phénomène de déshydratation. En effet ces boissons possèdent des caractères organoleptiques agréables et favorisent ainsi la prise de boisson régulière pendant l'effort. Leur formulation, le plus souvent à base de glucose, de dextrose (qui sont des sucres rapides), de maltodextrine (sucre intermédiaire), ou de fructose (sucre lent), permet de prévenir l'hypoglycémie et de compléter l'apport énergétique. De plus elles apportent les vitamines et minéraux nécessaires au bon fonctionnement musculaire. Elles permettent de compenser les pertes sudorales en minéraux, notamment en sodium et en potassium. Il faudra veiller à ce que ces boissons soient hypo ou isotoniques par rapport au plasma. En effet une boisson hypertonique favorisera une déshydratation. Elles sont à ingérer de façon régulière pendant l'effort et par petites quantités, à raison de 0,5 à 1 litre par heure en fonction de la chaleur ambiante. Comme nous avons pu le voir, les sportifs peuvent fabriquer eux même leur boisson d'effort. Mais les boissons du commerce me paraissent plus intéressantes puisqu'elles fourniront tous les éléments nécessaires à une pratique sportive d'endurance. Les boissons faites de façon artisanale ne pourront, me semble-t-il, pas être aussi complètes ni attractives du point de vue gustatif. De plus, la plupart du temps, les sportifs ne pourront mettre que des sucres rapides dans leur boisson (du sirop de glucose par exemple), ce qui entraîne un risque d'hypoglycémie rebond au cours de l'exercice.

Il existe également des dosettes énergétiques. Elles sont présentées comme des concentrés d'énergie. Elles sont composées d'un complexe glucidique à assimilation

progressive. Ce complexe est composé de sucres à assimilation rapide (glucose ou saccharose), intermédiaire (maltodextrine) et lente (fructose). Ce type de dosette peut être utilisé en cours de parcours pour avoir un effet coup de fouet. Le risque d'hypoglycémie rebond est faible grâce à la présence de sucre à assimilation lente et intermédiaire. Il existe aussi des dosettes composées uniquement de sucres rapides (glucose et/ou saccharose). Cela permet d'avoir une production d'énergie très rapide. Ces dosettes peuvent être utilisées comme ration de démarrage. Cependant, le risque d'hypoglycémie rebond est là aussi présent. Elles seraient plutôt à utiliser en fin de course, pour procurer de l'énergie en vue d'un sprint par exemple. Dans les deux cas, on peut trouver dans la composition de ces dosettes des extraits de plantes à visée stimulante tels que le ginseng, le shitaké, ou le guanara par exemple.

Enfin, on peut trouver dans le commerce des barres de céréales énergétiques avec différents goûts. Ces barres apportent à la fois des sucres lents et rapides. Elles sont conseillées en cas d'effort de plus de trois heures. Elles servent à compléter l'apport énergétique liquide par un apport solide. De plus, cela permet de rompre avec la monotonie des boissons et d'éviter une potentielle sensation de faim. Ces barres étant de petite taille, elles sont facilement transportables, ce qui peut être pratique dans les cas où le ravitaillement ne peut se faire facilement. Cependant, il me semble que le sportif peut emmener avec lui d'autres sources d'énergie faciles à transporter et moins coûteuses comme par exemple du pain d'épice, des barres de céréales du commerce non destinées aux sportifs ou encore une banane.

Pour finir, on peut trouver des compléments alimentaires destinés à être utilisés après l'effort afin d'optimiser la récupération. Ces compléments alimentaires se présentent sous forme de boissons prêtes à l'emploi ou sous forme de poudre qui permet de reconstituer la boisson de récupération au dernier moment. Elles vont permettre d'aider l'organisme à se réhydrater après l'effort et de restaurer le stock énergétique. Elles aident aussi à favoriser l'élimination des déchets métaboliques et à compenser l'acidité post-effort. On conseille de les consommer dès la première heure de récupération. Ces boissons sont généralement à base de sucres lents, intermédiaires et rapides (les même que précédemment) afin de reconstituer les stocks de glycogène mais également de protéines et d'acides aminés branchés pour permettre d'augmenter la synthèse protéique. On y trouve également des antioxydants qui

aident à lutter contre le stress oxydatif engendré par l'effort musculaire (tel que du sélénium par exemple). Ce type de boisson peut présenter un réel intérêt pour aider le corps à récupérer plus vite. Ces boissons ont généralement des caractères organoleptiques agréables, incitant à la consommation et permettant donc une bonne réhydratation.

VII. Conclusion sur les produits de l'effort.

Il existe sur le marché de nombreux compléments alimentaires destinés aux sportifs. Il est donc important de rester prudent quant aux choix que l'on fait. Il faut notamment rester vigilant si l'on souhaite acheter ces produits sur internet, tous ne répondent pas aux normes exigées. Il est important de bien lire les étiquettes et de veiller à ce qu'elles répondent à la réglementation expliquée dans les paragraphes précédents. Les produits vendus en officine répondent à ces critères, possèdent une qualité pharmaceutique et restent donc un choix sûr pour le consommateur.

Pour ce qui est des produits, il me semble que les plus intéressants restent les boissons de l'effort et de récupération (qu'elles soient prêtes à l'emploi ou à reconstituer extemporanément). Les sportifs pourront bien sûr fabriquer eux même ce type de boisson, mais ne pourront que difficilement atteindre la qualité qu'offrent ces produits en terme de vitamines et oligoéléments mais aussi en terme énergétique. Leur autre qualité est que le goût souvent agréable incite à la consommation, favorisant une hydratation optimale. Leur formulation va également dans ce sens, mais elle permet aussi d'apporter tous les nutriments nécessaires à la pratique sportive et qui sont perdus par l'organisme via la transpiration.

**QUATRIEME PARTIE : Enquête sur les habitudes
alimentaires des cyclistes amateurs.**

Le cyclisme est un sport très populaire en France. Beaucoup d'amateurs, de tout âge, le pratiquent. L'alimentation peut jouer un rôle clé dans l'amélioration des performances. J'ai donc voulu étudier, à travers une enquête alimentaire, comment se préparaient les cyclistes amateurs et si cela avait des conséquences sur leurs performances.

I. Présentation du questionnaire.

Le questionnaire porte sur les habitudes alimentaires des cyclistes que ce soit au quotidien ou bien sur la préparation en vue d'une sortie de plus de trois heures (un effort moins long ne nécessitant pas une alimentation particulière). Le questionnaire se découpe donc en plusieurs parties : la préparation la veille, le matin, juste avant le départ, pendant et après la sortie. Une partie est également consacrée à l'alimentation au quotidien.

ENQUETE SUR LES HABITUDES ALIMENTAIRES DES CYCLISTES



Nom, Prénom :

.....

Age :

.....

Taille, poids :

.....

Combien faites-vous d'heures de vélo par semaine ?

.....

Nombre de kilomètres parcourus par semaine :

.....

Vitesse moyenne :

.....

Le questionnaire porte sur les habitudes alimentaires en vue d'une sortie à vélo de plus de trois heures (randonnée, cyclosportive, entraînement...).

Il est important de préciser les types d'aliments consommés et si possible les quantités (viandes blanches ou rouges, poissons, légumes cuits ou crus, fruits crus, cuits ou secs, produits laitiers, fromages, sucreries, pâtisseries, viennoiseries, féculents).

Les féculents regroupent les céréales (blé, maïs, avoine, riz...), les légumineuses (haricots secs, fèves, petits pois, lentilles...), et les tubercules tel que la pomme de terre. Certains produits dérivés de l'industrie agro-alimentaire font également partis des féculents : farines, pâtes alimentaires, pain...

Le type de boisson (eau plate ou gazeuse, lait, café, thé, soda, jus de fruits, boissons énergétiques pour sportifs, vin, bière...) doit également être noté, ainsi que les quantités ingérées.

I. Alimentation la veille de la sortie (précisez s'il s'agit du repas du midi et/ou du soir).



Viandes, poissons (ex : une tranche de jambon) :

.....
.....



Féculents (ex : 250 g de pâtes alimentaires) :

.....
.....



Produits laitiers (ex : un yaourt) :

.....
.....



Légumes (ex : 100 g de haricots verts) :

.....
.....



Fruits (ex : une pomme) :

.....
.....



Boissons sur la journée (ex : 1,5 l d'eau plate) :

.....
.....



Pâtisseries, viennoiseries, sucreries (ex : une tranche de brioche ou un carré de chocolat) :

.....
.....

II. Alimentation le matin de la sortie. (précisez combien de temps avant le départ).

Heures avant le départ :



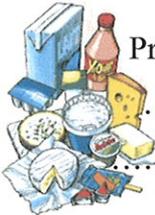
Viandes, poissons (ex : une tranche de jambon) :

.....
.....



Féculents (ex : 250 g de pâtes alimentaires) :

.....
.....



Produits laitiers (ex : un yaourt) :

.....
.....



Légumes (ex : 100 g de haricots verts) :

.....
.....



Fruits (ex : une pomme) :

.....
.....



Boissons (ex : 1,5 l d'eau plate) :

.....
.....



Pâtisseries, viennoiseries, sucreries (ex : une tranche de brioche ou un carré de chocolat) :

.....
.....

III. Alimentation juste avant le départ.



Viandes, poissons (ex : une tranche de jambon) :

.....
.....



Féculents (ex : 250 g de pâtes alimentaires) :

.....
.....



Produits laitiers (ex : un yaourt) :

.....
.....



Légumes (ex : 100 g de haricots verts) :

.....
.....



Fruits (ex : une pomme) :

.....
.....



Boissons (ex : 1,5 l d'eau plate) :

.....
.....



Pâtisseries, viennoiseries, sucreries (ex : une tranche de brioche ou un carré de chocolat) :

.....
.....

Autres :

.....

IV. Alimentation pendant la sortie. (précisez la quantité et la fréquence des apports).



Viandes, poissons (ex : une tranche de jambon) :

.....
.....



Féculents (ex : 250 g de pâtes alimentaires) :

.....
.....



Produits laitiers (ex : un yaourt) :

.....
.....



Légumes (ex : 100 g de haricots verts) :

.....
.....



Fruits (ex : une pomme) :

.....
.....



Boissons (ex : 1,5 l d'eau plate) :

.....
.....



Pâtisseries, viennoiseries, sucrerie (ex : une tranche de brioche ou un carré de chocolat) :

.....
.....

Autres :

.....
.....

V. Alimentation après la sortie (précisez combien de temps après la sortie).

Heures après la sortie :



Viandes, poissons (ex : une tranche de jambon) :

.....
.....



Féculents (ex : 250 g de pâtes alimentaires) :

.....
.....



Produits laitiers (ex : un yaourt) :

.....
.....



Légumes (ex : 100 g de haricots verts) :

.....
.....



Fruits (ex : une pomme) :

.....
.....



Boissons (ex : 1,5 l d'eau plate) :

.....
.....



Pâtisseries, viennoiseries, sucreries (ex : une tranche de brioche ou un carré de chocolat) :

.....

Autres :

.....

VI. Prenez-vous des compléments alimentaires à l'entraînement et/ou en sorties ? Si oui, lesquels, sous quelle forme et pourquoi ? (exemples : vitamines, oligoéléments, antioxydants...)

.....

VII. Êtes-vous attentif à votre poids de forme ?

.....

VIII. Durant le reste de la semaine, combien fois consommez-vous en moyenne par jour :

- De fruits et légumes ?.....
- De féculents ?.....
- De produits laitiers ?.....
- De viande ?.....
- De poisson ?.....
- De boisson (ex : 1 l par jour) ?.....
- D'alcool (ex : un verre par jour) ?.....
- De matières grasses ajoutées (beurre, huile, crème fraîche...) ?.....
- De sucre et de produits sucrés (sodas, boissons sucrées, confiseries, chocolat, pâtisseries, crèmes dessert...) ?.....
- Surveillez-vous votre consommation en sel ?.....

IX. Autres choses à indiquer :

.....
.....
.....

II. Interprétation des résultats.

Trente deux personnes ont répondu au questionnaire. La plupart du temps, les sujets font partie d'un club de cyclisme. Tous font plus de trois heures de cyclisme par semaine.

Quatre groupes ont pu être distingués :

- Dix personnes de plus de soixante ans, dont une femme, parcourant plus de deux cents kilomètres par semaine.
- Sept personnes de plus de soixante ans, dont trois femmes, parcourant moins de cent kilomètres par semaine.
- Huit personnes, dont trois femmes, ayant entre cinquante et cinquante neuf ans parcourant en moyenne cent quarante cinq kilomètres par semaine.
- Sept personnes, dont trois femmes, ayant moins de cinquante ans parcourant en moyenne cent dix kilomètres par semaine.

On peut déjà constater que les groupes sont relativement équilibrés ainsi que la répartition des femmes dans chaque groupe. Cela montre que le cyclisme intéresse tous les âges, et aussi bien les hommes que les femmes. On peut cependant noter que peu de femmes pratiquent le cyclisme de façon intense.

1. Présentation des groupes et de leurs habitudes alimentaires au quotidien.

Tableau 8. Présentation des groupes en fonction de l'âge, des kilomètres parcourus, de la vitesse moyenne, de l'indice de masse corporel (IMC) et des habitudes alimentaires.

	60 ans, > 200 km par semaine	60 ans, < 100 km par semaine	50 – 59 ans	< 50 ans
Nombre de sujets	10	7	8	7
Age moyen (en années)	63	63	56	39
IMC moyen	24,6 (5 avec une corpulence normale et 5 en surpoids)	22,5 (5 avec une corpulence normale et 2 en surpoids)	24,4 (5 avec une corpulence normale et 3 en surpoids)	25 (4 avec une corpulence normale, 2 en surpoids et 1 en obésité)
Nombre moyen de kilomètres par semaine	208,5	73	145	110
Vitesse moyenne (km/h)	24,55	17,6	22,4	22,3
Nombre de personnes ayant une alimentation variée et équilibrée	10	7	6	5
Consommation moyenne par jour en produit laitier	3	2	2	3
Consommation moyenne par jour en fruits et légumes	3	3	2	2
Nombre de personnes faisant attention à leur poids de forme	8	3	6	5
Nombre de personnes faisant attention à leur consommation en sel	9	3	4	4
Nombre de personnes prenant des compléments alimentaires + Aspect qualitatif des apports				1 personne prend des vitamines

D'après ces résultats, c'est le premier groupe (plus de soixante ans et plus de deux cents kilomètres par semaine) qui fournit les efforts les plus importants. Ils font plus de kilomètres en moyenne par semaine et à un rythme plus élevé.

Entre les deux groupes de plus de soixante ans, on peut remarquer une différence notable sur le nombre de kilomètres moyens effectués par semaine et sur la vitesse moyenne. Cela indique un esprit tout à fait différent de la pratique sportive. Les premiers ont certainement un esprit de performances et de compétition alors que les seconds doivent pratiquer le cyclisme dans un esprit plus de détente, sans souci d'accomplir la meilleure performance sportive.

On peut également remarquer que ce sont les personnes de plus de soixante ans qui font les efforts physiques les plus intenses. Cela est certainement dû au fait que la plupart des personnes de plus de soixante ans sont à la retraite et ont donc plus le temps de s'entraîner que les personnes actives.

L'ensemble des groupes a un IMC (Indice de Masse Corporelle) moyen qui indique une corpulence normale. Cela signifie que leur alimentation est adaptée à leurs besoins et leur dépense physique. L'IMC se calcule en divisant le poids (en kilogrammes) par la taille (en mètres) élevée au carré. On peut alors interpréter les résultats de la façon suivante :

- Moins de 18 : maigreur
- De 18 à 24,9 : corpulence normale
- De 25 à 29,9 : surpoids
- De 30 à 39,9 : obésité
- Plus de 40 : obésité morbide

On peut cependant noter que le groupe de plus de soixante ans faisant plus de deux cents kilomètres par semaine a un IMC moyen supérieur à celui des sujets du même âge et ne faisant que moins de cent kilomètres par semaine. On aurait pu s'attendre à une relation inverse. Plusieurs explications me semblent possibles.

Pour les personnes faisant plus de sport, on peut supposer que leur masse musculaire est plus importante. Le muscle pesant plus lourd que la graisse, leur IMC est donc par conséquent plus élevé. On peut aussi penser que ce groupe « surestime » ses besoins : il est possible qu'ils pensent qu'en faisant beaucoup de sport, leurs petits excès alimentaires seront alors compensés.

D'après les résultats, il semble que l'ensemble des groupes aient une alimentation variée et équilibrée. Une alimentation variée et équilibrée signifie que l'on mange de tout en quantité raisonnable. De plus, cela indique que l'on consomme au moins 1,5 L d'eau par jour, des féculents à chaque repas, des légumes au moins deux fois par jour, des fruits au moins trois fois par jour, de la viande ou des œufs une à deux fois par jour. Cela signifie également que l'on ingère du poisson au moins deux fois par semaine, des produits laitiers trois fois par jour, que l'on mange peu de produits sucrés, et que l'on fait attention à sa consommation en graisses, en sel et en alcool.

La plupart des personnes font attention à leur poids de forme et à leur consommation de sel. On note cependant que ce sont les personnes qui font les sorties les plus longues qui déclarent faire le plus attention à leur poids de forme et qui ont une alimentation la plus variée et la plus équilibrée.

Même si la majorité a une alimentation variée et équilibrée, on peut pourtant remarquer que la consommation en fruits, légumes et produits laitiers est légèrement inférieure aux recommandations.

Enfin, très peu de personnes prennent des compléments alimentaires.

2. Rappel sur les conseils nutritionnels pour les sportifs.

Pour des efforts physiques importants, l'alimentation doit être adaptée pour pouvoir être capable de maintenir un rythme élevé.

La veille au soir de l'épreuve, une augmentation des apports en glucides est nécessaire pour avoir des réserves maximales en glycogène. On conseille un apport moyen de 200 g en féculents, le plus souvent des pâtes. Les apports hydriques doivent également être augmentés.

Le matin de la sortie, environ trois heures avant le départ, un petit déjeuner enrichi en féculents devra être consommé (une tasse de boisson chaude, céréales, fruits, riz ou pâtes). Il devra être adapté à la tolérance de chacun afin que la vacuité gastrique en début d'exercice soit assurée.

Dix à quinze minutes avant le départ, on conseille l'ingestion d'une boisson riche en glucides. La quantité sera adaptée en fonction de la tolérance digestive de chacun.

Durant l'effort, on conseille de boire quelques gorgées toutes les 15 à 30 minutes de boissons enrichies en glucides, sels minéraux et micronutriments (au moins du chlorure de sodium). La quantité doit être adaptée en fonction de la tolérance digestive. En fonction de l'effort produit, des apports solides de glucides sous forme de barres de céréales ou barre de céréales spéciale effort, bananes ou pain d'épice, peuvent être ajoutés.

Enfin pour la récupération, on peut conseiller de boire dès la fin de l'exercice une boisson de récupération à apports mixtes (glucides, protéines et sodium) spécialement conçue pour les sportifs. Les apports doivent se faire par gorgées tous les quarts d'heure durant deux à quatre heures. En théorie, les apports doivent compenser 1,5 à 2 fois les pertes sudorales.

3. Analyse de l'alimentation des groupes en vue d'une sortie de plus de trois heures.

Tableau 9. Préparation alimentaire des différents groupes en vue d'une randonnée d'au moins trois heures.

	60 ans, > 200 km par semaine	60 ans, < 100 km par semaine	50 – 59 ans	< 50 ans
	Apports la veille au soir			
Nombre de personnes ayant une alimentation enrichie en féculents + Quantité et qualité moyenne des apports en glucides (en grammes)	10 161,25 g de pâtes alimentaires	6 Non calculable (pâtes alimentaires)	6 150 g de pâtes alimentaires	5 Non calculable (pâtes alimentaires)
Apports moyens en eau (en litres)	1,4 L	1 L	1,4 L	1,4 L
	Le matin de la sortie			
Temps moyen de prise avant le départ	2 h 12	1 h 25	1 h 25	1 h 30
Nombre de personnes prenant un petit déjeuner normal (une tasse ou un bol de boisson chaude, viennoiseries ou tartines), ± yaourt et ou fruit	5	6	4	4
Nombre de personnes prenant un petit déjeuner enrichi en féculents + Quantité et qualité moyenne des apports (en grammes)	5 Non quantifiable Céréales, pâtes alimentaires, gâteau sport	1 1 part de gâteau de riz	4 Non quantifiable Gâteau énergétique, céréales	3 Non quantifiable Pâtes alimentaires

	Alimentation juste avant le départ			
Apports moyens en boisson	1 verre d'eau sucrée ou de boisson énergisante	Une tasse de café	Une tasse de café	Un verre de jus d'orange ou une tasse de café
Apports moyens en aliments solides	Gâteau énergisant, pain d'épices ou barre de céréales : 3 pers Bananes : 2 pers	1 personne prend une part de cake ou de pain d'épice 1 personne prend un mini repas	Une part de gâteau type quatre quart : 2 pers Pruneaux : 1 pers	Une part de quatre quart : 1 pers 1 banane + 1 yaourt : 1 pers
	Alimentation pendant la sortie			
Quantité et qualité des apports en boisson	1,4 L Eau : 4 pers Eau sucrée : 2 pers Boisson énergétique : 1 Boisson énergétique + eau : 3 pers	1,1 L Eau : cinq pers Boisson énergétique : 1 pers Café : 1 pers	1,6 L Eau : 3 pers Café : 1 pers Boisson énergétique : 1 pers	1,5 L Eau : 6 pers Boisson énergétique : 2 pers
Qualité des apports solides	Sandwich jambon : 2 pers Pain d'épices : 1 pers Fruits, fruits secs : 7 pers Barre de céréales : 7 pers Barre énergétique : 1 pers Gel antioxydant : 1 pers	Sandwich jambon : 1 pers Pain d'épices : 1 pers Fruits, fruits secs : 4 pers Barre de céréales : 3 pers Barre énergétique : 1 pers	Sandwich jambon : 2 pers Fruits, fruits secs : 3 pers Barre de céréales : 1 pers Barre énergétique : 1 pers Viennoiserie : 2 pers Produits laitier : 3 pers Mini repas : 2 pers (sortie sur la journée, cycloportive) Complément alimentaire contre les crampes : 1 pers (cycloportive)	Sandwich jambon : 3 pers Fruits, fruits secs : 5 pers Barre de céréales : 3 pers Viennoiserie : 2 pers Produits laitiers : 1 pers Pastille de dextrose : 1 pers

	Alimentation après la sortie			
Temps moyen de prise après la sortie	1 h 45	Non calculable	1 h 42	1 h 00
Quantité et qualité des apports en boisson	0,8 L Eau : 2 pers Eau gazeuse : 4 pers Boisson de récupération : 2 pers Alcool : 2 pers	0,9 L Eau : 5 Alcool : 1	0,7 L Eau : 6 Eau gazeuse : 2 Alcool : 2	1,125 L Eau : 6
Nombre de personnes prenant un repas normal	5	5	5	6
Nombre de personnes augmentant les apports en glucides	2	1	3	1

L'ensemble des groupes a une préparation alimentaire adaptée à leur effort. On peut remarquer que plus les personnes pratiquent le cyclisme à un niveau soutenu, plus leur alimentation est adaptée à l'effort.

On observe une augmentation des apports en glucides avant et pendant l'effort. Les apports hydriques sont également corrects. On peut noter que ce sont les personnes qui font les efforts les plus importants qui consomment des boissons énergétiques spécialement formulées pour l'effort. Ce type d'attitude est logique et montre que les sujets savent comment compenser leurs pertes hydriques et minérales liées à la transpiration, et ont conscience de l'importance que peut avoir l'hydratation sur la performance.

Certaines personnes prennent des « rations d'attente » juste avant le départ en consommant une part de gâteau et/ou une boisson plus ou moins sucrée. On peut aussi souligner que beaucoup des personnes prennent un café juste avant le départ, certainement dans le but de se stimuler. Les personnes qui font les sorties les plus longues sont également les personnes qui font le plus attention à la qualité des produits. Ainsi, on voit que ces personnes sont celles qui consomment le plus de gâteaux énergisants, de barres de céréales,

de barres énergétiques ou de bananes. Les autres personnes se tournent plus vers des gâteaux plus gras.

L'ensemble des groupes a recours à une petite collation durant l'effort ce qui est une bonne chose pour maintenir ses réserves énergétiques. Les aliments les plus consommés sont les barres de céréales, le pain d'épices, les pâtes de fruits ou les fruits secs. L'utilisation de pâtes de fruits me semble déconseillée. Ces aliments sont riches en sucres rapides. Leur consommation entraîne un pic insulinaire et par conséquent une hypoglycémie rebond. Il y a alors un risque réel d'une sensation de fatigue qui pourrait entraîner une chute.

Les personnes faisant des sorties sur la journée, lors de randonnées par exemple, consomment des sandwiches (souvent au jambon) voir des minis repas, ce qui est une bonne chose pour apporter de l'énergie et des protéines nécessaires au bon fonctionnement des muscles. D'autres consomment des sandwiches ou des viennoiseries pendant la sortie, même si l'effort fourni n'est pas spécialement intense. Cela démontre le caractère convivial de la pratique sportive chez ses personnes. Ces personnes ne pratiquent pas le cyclisme dans un but de performance mais plutôt dans un esprit de détente, souvent entre amis. Cet esprit est particulièrement visible entre les deux groupes de soixante ans. Ceux faisant plus de deux cents kilomètres dans la semaine ont une alimentation beaucoup plus ciblée. Ils consomment en moyenne plus de féculents avant et pendant la sortie. Ils ne consomment que très peu d'aliments gras et se tournent plus vers des aliments et boissons destinés aux sportifs.

En ce qui concerne l'alimentation après la sortie, l'élément le plus intéressant est celui de la consommation de boissons. Beaucoup de personnes consomment de l'eau gazeuse riche en sodium. Cela est une bonne idée pour compenser les pertes à la fois hydrique et sodique. Seules les personnes pratiquant un effort intense consomment une boisson de récupération. Les autres consommant en majorité de l'eau. En ce qui concerne la quantité de boisson ingérée après la sortie, les apports me paraissent corrects par rapport à l'effort fourni. Côté alimentation, la plupart des personnes font un repas complet dans les deux heures qui suivent, mais très peu augmentent leur consommation en féculents pour récupérer au mieux.

En étudiant les différents questionnaires, une personne m'a semblé sortir du lot. C'est un homme de soixante trois ans pratiquant le cyclisme a un niveau élevé (en moyenne vingt heures par semaine, jusqu'à cinq cents kilomètres par semaine à environ vingt sept à trente kilomètres heures de moyenne). Cette personne participe souvent à des compétitions. Sa préparation alimentaire est très intéressante et complète. Elle est en accord avec son niveau.

La veille, il augmente sa consommation en glucides en consommant des pâtes alimentaires, ses repas restant complets et équilibrés. Ses apports hydriques sont de deux litres sur la journée. Cela lui permet d'augmenter ses réserves en glycogène et d'être en état de normohydratation.

Le matin de la compétition, il prend un petit déjeuner léger trois heures avant le départ. Il est composé d'un pot de fromage blanc, un café et d'une part de gâteau enrichi en glucides lents. Cela permet d'avoir une certaine vacuité gastrique au moment du départ tout en ayant des réserves glycogéniques à leur maximum.

Juste avant le départ, il prend une ration d'attente sous forme de boisson glucosée (25 cl) dans le but d'avoir une hydratation préventive. Il ingère également une portion de gel antioxydant afin de prévenir les effets néfastes des radicaux libres sur les muscles.

Son alimentation durant la sortie est tout aussi exemplaire. Il ingère 1,5 L de boisson énergétique et antioxydante destinée aux sportifs ainsi qu'un litre d'eau. Cela permet d'apporter l'énergie nécessaire à la continuité de l'effort physique mais également de compenser les pertes hydrique et minérale liées à l'exercice. Il intègre aussi des apports solides toutes les heures. Il consomme des barres énergétiques pour sportifs et/ou un gel antioxydant. Cette stratégie possède un double avantage : apporter une source d'énergie et éviter les fringales tout en ne surchargeant pas l'estomac.

Deux à trois heures après la sortie, il prend un repas normal mais non enrichi en féculents. Il compense ses pertes hydriques par un litre d'eau.

Sa préparation alimentaire est tout à fait exemplaire. On peut cependant souligner que son alimentation en vue d'une récupération optimale pourrait être améliorée. Il pourrait consommer des féculents à son repas d'après effort et utiliser une boisson de récupération destinée aux sportifs. Cependant, peut être n'en ressent il pas le besoin car sa préparation alimentaire avant et pendant l'effort est tout à fait adaptée et suffisante.

En conclusion, au vu des résultats des questionnaires, les cyclistes amateurs savent adapter leur alimentation à leurs besoins et ce sans nutritionniste pour les conseiller comme cela est le cas dans le cyclisme professionnel. Les personnes fournissant les efforts les plus intenses ont plus tendance à se tourner vers des aliments spécialement conçus pour les sportifs. Cela me semble tout à fait justifié, car à partir d'un certain niveau, l'alimentation courante ne suffit pas à compenser les pertes et apporter l'énergie qui leur est nécessaire.

CONCLUSION.

Tout comme pour les personnes sédentaires, l'alimentation des sportifs doit avant tout être variée et équilibrée. Au quotidien, un amateur n'aura pas besoin de suivre un régime adapté. C'est à l'approche de randonnées de longues durées et de celles qui se déroulent dans un environnement particulier (ambiance chaude par exemple) que le sportif devra modifier son alimentation.

Il devra essentiellement majorer sa consommation en glucides avant, pendant et après la randonnée. Avant l'épreuve, cela permet d'augmenter ses réserves en glycogène, pendant l'épreuve cela permet de réduire les déficits liés à la dépense énergétique. Enfin, après l'épreuve une boisson glucosée aidera à reconstituer les réserves et à éviter les coups de pompe. Au-delà d'un apport énergétique plus élevé, le sportif devra également veiller à sa consommation hydrique, vitaminique et minérale afin de compenser les pertes sudorales.

Les compléments alimentaires que l'on trouve en pharmacie peuvent être une aide efficace. Leur formulation adaptée permet d'apporter tous les nutriments nécessaires à la pratique sportive.

L'enquête alimentaire menée auprès de cyclistes amateurs a pu démontrer que ces sportifs savent adapter leur alimentation à leurs besoins. Les plus pratiquants augmentent leur consommation en glucides et leurs apports hydriques. Ils font également appel à des compléments alimentaires afin de mieux compenser leurs pertes hydrique et énergétique.

Pour conclure on retiendra qu'une alimentation équilibrée au quotidien est fondamentale. C'est la nutrition qui permet à long terme de maintenir le sportif en bonne santé. L'alimentation de l'effort ne visera qu'à retarder la baisse des réserves énergétiques, éviter la déshydratation et la fatigue.

BIBLIOGRAPHIE.

[1] – ACWORTH I.N., BLOMSTRAND E., NEWSHOLME E.A. Aminoacids, brain neurotransmitters and a functional link between muscle and brain that is important in sustained exercise. *In : BENZ G. Advances in myochemistry.* John Libbey Eurotext, London, 1987, p. 127-133.

[2] - AFSSA. (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments). Aliments riches en lipides. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.afssa.fr/Documents/TNA-Fi-Lipides-LipidesTotaux.pdf>. (Page consultée le 24/07/08)

[3] - AFSSA. Aliments riches en protéines d'origine animale. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.afssa.fr/Documents/TNA-Fi-ProteinesAnimales.pdf>. (Page consultée le 30/07/08)

[4] - AFSSA. Aliments riches en protéines d'origine végétale. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.afssa.fr/Documents/TNA-Fi-ProteinesVegetales.pdf>. (Page consultée le 30/07/08)

[5] - AFSSA. Aliments riches en vitamine E. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.afssa.fr/Documents/ANC-Ft-VitE.pdf>. (Page consultée le 14/01/09)

[6] - AFSSA. Apports nutritionnels conseillés en acide folique pour la population française et sources alimentaires d'acide folique. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.afssa.fr/Documents/ANC-Ft-TableauVitB9.pdf>. (Page consultée le 29/09/08)

[7] - AFSSA. Apports nutritionnels conseillés en vitamine A pour la population française et sources alimentaires de vitamine A. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.afssa.fr/Documents/ANC-Ft-TableauVitA.pdf>. (Page consultée le 29/09/08)

[8] - AFSSA. Apports nutritionnels conseillés en vitamine C pour la population française et sources alimentaires de vitamine C. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.afssa.fr/Documents/ANC-Ft-TableauVitC.pdf>. (Page consultée le 29/09/08)

[9] - AFSSA. Apports nutritionnels conseillés en vitamine D pour la population française et sources alimentaires de vitamine D. [en ligne]. Disponible sur :

<http://www.afssa.fr/Documents/ANC-Ft-TableauVitD.pdf>. (Page consultée le 29/09/08)

[10] - AFSSA. Apports énergétiques conseillés pour la population française, estimation en fonction du niveau moyen d'activité usuelle. [en ligne]. Disponible sur :

<http://www.afssa.fr/Documents/ANC-TableauxApportsE.pdf>. (Page consultée le 29/09/08)

[11] - AFSSA. Apports nutritionnels conseillés (ANC). [en ligne]. Disponible sur :

<http://www.afssa.fr>. (Page consultée le 24/07/08)

[12] - AFSSA. Glucides et santé : état des lieux, évaluation et recommandations. Octobre 2004, 167 p.

[13] - AFSSA. Les acides gras trans. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.afssa.fr>. (Page consultée le 24/07/08)

[14] - AFSSA. Les apports conseillés en énergie. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.afssa.fr>. (Page consultée le 29/09/08)

[15] - AFSSA. Les oméga 3. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.afssa.fr>. (Page consultée le 24/07/08)

[16] - AFSSA. Vitamine A et caroténoïdes provitaminiques. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.afssa.fr>. (Page consultée le 29/09/08)

[17] - AFSSA. Vitamine B9 ou acide folique. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.afssa.fr>. (Page consultée le 29/09/08)

[18] - AFSSA. Vitamine C ou acide ascorbique. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.afssa.fr>. (Page consultée le 29/09/08)

[19] - AFSSA. Vitamine D. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.afssa.fr>. (Page consultée le 29/09/08)

[20] - AGENCE NATIONALE D'ACCREDITATION ET D'EVALUATION EN SANTE. Teneur en lipides des aliments. [en ligne] Disponible sur : http://www.prevention-cardio.com/teneur_en_lipides_des_aliments_19.html. (Page consultée le 28/07/08)

[21] – ANDERSON S.L., GONZALEZ-ALONSO J., TELLER C. [et al]. Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J. Appl. Physiol.*, 1999, 86, p. 1032-1039.

[22] – ANGUS D.J., BURKE L.M., HAWLEY J.A. [et al]. Adaptations to short-term high-fat diet persist during exercise despite high carbohydrate availability. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2002, 34, p. 83-91.

[23] - APFELBAUM M., FORRAT C., NILLUS P. Diététique et nutrition. 3^e éd. Paris : Masson, 1995, 479 p.

[24] - ARNAL M., BEAUFRERE B., GRIZARD J. Protéines. *In : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments. Apports nutritionnels conseillés pour la population française*. 3^e éd. Paris : Tec & doc, 2001, p. 37-62.

[25] - BASDEKIS J.-C. L'alimentation du coureur à pied et du marathonien. Paris : ESTEM, 2003, 122 p.

[26] - BELLISLE F., COUET C., DELARUE J. Glucides. *In : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments. Apports nutritionnels conseillés pour la population française*. 3^e éd. Paris : Tec & doc, 2001, p. 83-98.

[27] - BIESALSKI H. K., GRIMM P. Atlas de poche de nutrition. Paris : Maloine, 2004, 341 p.

[28] – BIGARD A.X., LAVIER P., ULLMANN L. [et al]. Branched chain amino acid supplementation during repeated prolonged skiing exercises at altitude. *Int. J. Sport Nutr.*, 1996, 6, p. 295-306. e

- [29] - BIGARD X., GUEZENNEC CY. Nutrition du sportif. 2^e éd. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson, 2007, 241 p.
- [30] – BLOMSTRAND E., HASSMEN P., NEWSHOLME E.A. Effect of branched-chain amino acid supplementation on mental performance. *Acta Physiol. Scand.*, 1991, 143, p.225-226.
- [31] - BOISSEAU N. Nutrition et bioénergétique du sportif : bases fondamentales. Paris : Masson, 2005, 217p.
- [32] - BOURRE JM., DESCOMPS B., DURAND G. Lipides. *In : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments. Apports nutritionnels conseillés pour la population française.* 3^e éd. Paris : Tec & doc, 2001, p. 63-82.
- [33] – BURKE L., HITCHINS S., MARTIN D.T. [et al]. Glycerol hyperhydration improves cycle time trial performance in hot humid conditions. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1999, 80, p. 494-501.
- [34] - CAMPILLO B., JACOTOT B. Nutrition humaine. Paris : Masson, 2003, 311 p.
- [35] - CHEVALLIER L. Nutrition : principes et conseils. Paris : Masson, 2003, 256 p.
- [36] - COHEN Y., JACQUOT C. Abrégé de pharmacologie. 6e éd. Issy-les-Moulineaux : Masson, 2008, 487 p.
- [37] - COSTILL D.L. WILMORE J.H. Physiologie du sport et de l'exercice : adaptation physiologique à l'exercice physique. Bruxelles : De Boeck université, 2006, 602p.
- [38] - DEJEAN C. Manuel de diététique pour le sport. La Fresquièrre : Ed. DésIris, 2008, 128 p.
- [39] - DELAVIER F., GUNDILL M. Guide des compléments alimentaires pour sportifs. Paris : Vigot, 2007, 160p.

[40] – DENIS S., HAWLEY J.A., NOAKES T.D. [et al]. Carbohydrate loading and exercise performance. *Sports Med.*, 1997, 24, p. 73-81.

[41] – DE SOUZA C.A., HALLMARK M.A., REYNOLDS T.H. [et al]. Effects of chromium and resistive training on muscle strength and body composition. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1996, 28, p. 139-144.

[42] – EDDY D.E., MURRAY R., PAUL G.L. [et al]. Physiological responses to glycerol ingestion during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 1991, 71, p. 144-149.

[43] – GLEESON M., GREENHAFF P.L., MAUGHAN R.J. Influence of 24h fast on high intensity cycle exercise performance in man. *Eur J. Appl. Physiol.*, 1988, 57, p. 653-659. c

[44] – GRAHAM T.E., MACLEAN D.A., SALTIN B. Stimulation of muscle ammonia production during exercise following branched-chain amino acid supplementation in humans. *J. Appl. Physiol.*, 1996, 493, p. 909-922.

[45] - GUILLAND JC., MARGARATIS I., MELIN B. [et al.]. Sportifs et sujets à activité physique intense. In : *Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments. Apports nutritionnels conseillés pour la population française*. 3^e éd. Paris : Tec & doc, 2001, p. 337-396.

[46] - JOURNAL OFFICIEL DE L'UNION EUROPEENNE. Règlement (CE) n°1924/2006 du parlement européen et du conseil du 20 décembre 2006 concernant les allégations nutritionnelles et de santé portant sur les denrées alimentaires (« Journal officiel de l'Union européenne » L404 du 30 décembre 2006). [en ligne]. Disponible sur : <http://www.eur-lex.europa.eu>. (Page consultée le 19/10/09)

[47] - KATCH FI., KATCH VL., McARDLE WD. Nutrition et performances sportives. Bruxelles : De Boeck, 2004, 686 p.

[48] - LA REVUE PRESCRIRE. Les compléments alimentaires : la passoire administrative. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.prescrire.org/aLaUne/dossierComplémentsAlim.php>. (Page consultée le 28/07/09)

[49] - LEGIFRANCE. Décret n°2006-352 du 20 mars 2006 relatif aux compléments alimentaires. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.legifrance.gouv.fr>. (Page consultée le 19/10/09)

[50] - LE MOEL G., GOUSSON T., GUEANT JL. [et al.]. Le statut vitaminique : physiologie, exploration biologique et intérêt clinique. Cachan : Ed. médicales internationales, 1998, p. 3-28.

[51] - MATON F. Vitamine E (tocopherols). [en ligne]. In : Site de l'Institut régional de biologie et de médecine du sport. Disponible sur : <http://www.irbms.com/rubriques/Dietetique/Vitamine-E-tocopherols-sport.php>. (Page consultée le 14/01/09)

[52] - MAYES P. Cycle de l'acide citrique – catabolisme de l'acétyl-CoA. In : GRANNER D., MAYES P., MURRAY R. [et al.]. *Précis de biochimie de Harper*. 8^e éd. Paris : De Boeck, 1996, p. 188-196.

[53] - MAYES P. Gluconéogenèse et contrôle de la glycémie. In : GRANNER D., MAYES P., MURRAY R. [et al.]. *Précis de biochimie de Harper*. 8^e éd. Paris : De Boeck, 1996, p. 217-228.

[54]- MAYES P. Glycolyse et oxydation du pyruvate. In : GRANNER D., MAYES P., MURRAY R. [et al.]. *Précis de biochimie de Harper*. 8^e éd. Paris : De Boeck, 1996, p. 197-206.

[55] - MAYES P. Lipides physiologiquement importants. In : GRANNER D., MAYES P., MURRAY R. [et al.]. *Précis de biochimie de Harper*. 8^e éd. Paris : De Boeck, 1996, p. 163-176.

[56] - MAYES P. Métabolisme des acides gras insaturés et eicosanoïdes. In : GRANNER D., MAYES P., MURRAY R. [et al.]. *Précis de biochimie de Harper*. 8^e éd. Paris : De Boeck, 1996, p. 264-273.

[57] - MAYES P. Métabolisme du glycogène. *In : GRANNER D., MAYES P., MURRAY R. [et al]. Précis de biochimie de Harper. 8^e éd. Paris : De Boeck, 1996, p. 207-176.*

[58] - MAYES P. Oxydation des acides gras : cétogenèse. *In : GRANNER D., MAYES P., MURRAY R. [et al]. Précis de biochimie de Harper. 8^e éd. Paris : De Boeck, 1996, p. 250-263.*

[59] - MAYES P. Relations entre les voies métaboliques et réserves des carburants tissulaires. *In : GRANNER D., MAYES P., MURRAY R. [et al]. Précis de biochimie de Harper. 8^e éd. Paris : De Boeck, 1996, p. 319-327.*

[60] – MAYES P. Voie des pentoses phosphate et autres voies métaboliques des hexoses. *In : GRANNER D., MAYES P., MURRAY R. [et al]. Précis de biochimie de Harper. 8^e éd. Paris : De Boeck, 1996, p. 229-240.*

[61] - NESTLE NUTRITION. Nutrition sportive. Les dossiers nestlé nutrition, 2004, 12 p.

[62] - PERCHERON F., PERLES R., FOGLIETTI MJ. Biochimie structurale et métabolique : chromoprotéines, glucides, glycoprotéines, lipides, oxydations biologiques, interrelations métaboliques. 3^e éd. Paris : Masson, 1992, 300 p.

[63] - Résumé des recommandations du programme national nutrition santé (PNNS) et des apports nutritionnels conseillés pour la population française (ANC). [en ligne]. *In : Site du ministère des finances. Disponible sur : http://www.finances.gouv.fr/direction_services/daj/guide/gpem/nutrition/annexe8.pdf (Page consultée le 29/09/08)*

[64] - RICHE D. Diététique et micronutrition des sports d'endurance. Cahier de nutrition et de diététique, 2005, vol. 40, n° 2, p. 115-119.

[65] - RODWELL V. Catabolisme des chaînons carbonés des acides aminés. *In : GRANNER D., MAYES P., MURRAY R. [et al]. Précis de biochimie de Harper. 8^e éd. Paris : De Boeck, 1996, p. 348-373.*

[66] - RODWELL V. Protéines : structure et fonctions. *In : GRANNER D., MAYES P., MURRAY R. [et al]. Précis de biochimie de Harper.* 8^e éd. Paris : De Boeck, 1996, p. 47-55.

[67] - Vidal : le guide de l'alimentation équilibrée, mieux manger sans se compliquer la vie. Issy-les-Moulineaux : Ed. du vidal, 2008, 319 p.

[68] - WEIL JH. Biochimie générale. 10^e éd. Paris : Dunod, 2005, 726 p.

LISTE DES FIGURES.

Figure 1 : Digestion et absorption des glucides.....	p 28
Figure 2 : Digestion des lipides.....	p 29
Figure 3 : Glycogène hépatique et musculaire.....	p 32
Figure 4 : Etapes de la glycogénolyse.....	p 33
Figure 5 : Relations entre acides aminés et le cycle du citrate.....	p 40
Figure 6 : Les différentes interconversions importantes existant entre les glucides, les lipides, et les protéines.....	p 41

LISTE DES TABLEAUX.

Tableau 1 : Aliments et index glycémique.....	p 16
Tableau 2 : Sources de glucides.....	p 17
Tableau 3 : Teneur en lipides en grammes pour 100 g d'aliments.....	p22
Tableau 4 : Teneur en protéines en grammes pour 100 g d'aliments.....	p25
Tableau 5 : Acides aminés pouvant entrer dans le cycle de Krebs après désamination...	p 40
Tableau 6 : Besoins énergétiques des adultes selon le sexe, l'âge et le niveau d'activité physique exprimés en kcal.....	p 51
Tableau 7 : Apports énergétiques conseillés pour la population française, estimation en fonction du niveau moyen d'activité usuelle.....	p 52
Tableau 8 : Présentation des groupes en fonction de l'âge, des kilomètres parcourus, de la vitesse moyenne, de l'indice de masse corporel (IMC) et des habitudes alimentaires.....	p 121
Tableau 9. Préparation alimentaire des différents groupes en vue d'une randonnée d'au moins trois heures.....	p 125

TABLE DES MATIERES.

INTRODUCTION.....	p 9
PREMIERE PARTIE : Le métabolisme énergétique lors d'un exercice physique...p 10	
I. Les nutriments.....	p 11
1. Les glucides.....	p 11
1.1. Définition.....	p 11
1.2. Classification.....	p 12
1.2.1. Les monosaccharides.....	p 12
1.2.2. Les oligosaccharides.....	p 12
1.2.3. Les polysaccharides.....	p 13
1.2.4. Les fibres.....	p 13
1.3. Sucres rapides, sucres lents et index glycémique.....	p 14
1.4. Source de glucides.....	p 17
2. Les lipides.....	p 18
2.1. Définition.....	p 18
2.2. Classification.....	p 18
2.2.1. Les lipides simples.....	p 18
2.2.2. Les lipides complexes.....	p 19
2.2.3. Les précurseurs des lipides et les lipides dérivés.....	p 20
2.3. Source et teneur en lipides de certains aliments.....	p 22
3. Les protéines.....	p 23
3.1. Définition.....	p 23

3.2. Composition et structure des protéines.....	p 23
3.3. Sources et teneur en protéines de certains aliments.....	p 25
II. Le métabolisme énergétique.....	p 26
1. Digestion et absorption des nutriments.....	p 26
1.1. Les glucides.....	p 26
1.2. Les lipides.....	p 28
1.3. Les protéines.....	p 30
2. Le métabolisme anaérobie alactique.....	p 31
3. Le métabolisme anaérobie lactique.....	p 31
4. Le métabolisme aérobie.....	p 34
4.1. Oxydation des glucides.....	p 35
4.2. Utilisation du fructose.....	p 36
4.3. Mise en réserve du glucose : la glycogénogenèse.....	p 36
4.4. Contrôle de la glycémie.....	p 36
4.5. L'oxydation lipidique.....	p 38
4.6. Le métabolisme protéique.....	p 39
III. Schéma de synthèse des différentes voies métaboliques.....	p 41

DEUXIEME PARTIE : La nutrition du sportif.....	p 42
I. Les dépenses énergétiques.....	p 43
1. Le métabolisme de base.....	p 43
1.1. Définition.....	p 43
1.2. Valeurs moyennes du métabolisme de base.....	p 44
1.3. Calcul du métabolisme de base.....	p 44
1.4. Facteurs de variation du métabolisme de base.....	p 44
2. La dépense énergétique de repos.....	p 45
3. Les autres dépenses énergétiques.....	p 45
3.1. La thermorégulation.....	p 45
3.2. La digestion.....	p 46
3.3. Apport de diverses substances.....	p 46
3.4. L'activité physique.....	p 47
4. La dépense énergétique chez le sportif.....	p 47
II. Besoins et apports nutritionnels conseillés (ANC) en nutriments.....	p 50
1. Définition.....	p 50
2. Apports nutritionnels conseillés (ANC) pour la population générale.....	p 50
2.1. Les apports en énergie.....	p 50
2.2. Les apports en glucides.....	p 52
2.3. Les apports en fibres.....	p 52
2.4. Les apports en protéines.....	p 53
2.5. les apports en lipides.....	p 53

2.6. Les apports en sels minéraux et les oligoéléments.....	p 54
2.7. Les apports en vitamines.....	p 55
2.7.1. La vitamine A.....	p 55
2.7.1.1.Définition.....	p 55
2.7.1.2.Sources.....	p 56
2.7.1.3.Les besoins.....	p 56
2.7.1.4.Rôles physiologiques de la vitamine A.....	p 57
2.7.2. La vitamine B9 ou acide folique.....	p 58
2.7.2.1.Définition.....	p 58
2.7.2.2.Sources.....	p 59
2.7.2.3.Les besoins.....	p 59
2.7.2.4.Rôles physiologiques de la vitamine B9.....	p 59
2.7.3. La vitamine C ou acide ascorbique.....	p 60
2.7.3.1.Définition.....	p 60
2.7.3.2.Sources.....	p 60
2.7.3.3.Les besoins.....	p 61
2.7.3.4.Rôles physiologiques de la vitamine C.....	p 61
2.7.4. La vitamine D.....	p 61
2.7.4.1.Définition.....	p 61
2.7.4.2.Sources.....	p 62
2.7.4.3.Les besoins.....	p 62
2.7.4.4.Rôles physiologiques de la vitamine D.....	p 62
2.7.5. La vitamine E.....	p 63
2.7.5.1.Définition.....	p 63
2.7.5.2.Sources.....	p 63
2.7.5.3.Les besoins.....	p 63
2.7.5.4.Rôles physiologiques de la vitamine E.....	p 64
2.8. Les apports en eau.....	p 64

3. Apports nutritionnels conseillés (ANC) pour les sportifs.....	p 65
3.1. Les apports en glucides.....	p 65
3.1.1. Importance des glucides à l'effort.....	p 65
3.1.2. Stratégie alimentaire à l'effort.....	p 68
3.1.2.1. Avant l'effort.....	p 68
3.1.2.2. Pendant l'effort.....	p 70
3.1.2.3. Après l'effort : la phase de récupération.....	p 70
3.2. Les apports en lipides.....	p 71
3.3. Les apports en protéines.....	p 74
3.4. Les apports hydriques.....	p 76
3.4.1. La thermorégulation et la déshydratation.....	p 77
3.4.2. Les conséquences de la déshydratation.....	p 79
3.4.3. Mécanisme de la réhydratation.....	p 81
3.4.4. Formes d'hydratation au cours d'un exercice physique.....	p 83
3.4.5. Détermination du niveau d'hydratation.....	p 84
3.4.6. Hyperhydratation et glycérol.....	p 85
3.5. Les apports en minéraux et oligoéléments.....	p 86
3.5.1. Le sodium.....	p 87
3.5.2. Le potassium.....	p 88
3.5.3. Le magnésium.....	p 88
3.5.4. Le calcium.....	p 89
3.5.5. Le fer.....	p 89
3.5.6. Le zinc.....	p 90
3.5.7. Le cuivre.....	p 91
3.5.8. Le chrome.....	p 91
3.5.9. Le sélénium.....	p 92
3.5.10. Le manganèse.....	p 92
3.5.11. L'iode.....	p 93
3.6. Les apports en vitamines.....	p 93

III. Radicaux libres, stress oxydatif et sport.....	p 94
1. Définition des radicaux libres et du stress oxydatif.....	p 94
2. Les systèmes de dégradation des radicaux libres.....	p 95
3. Sport et radicaux libres.....	p 96
4. La supplémentation en antioxydants chez les sportifs.....	p 97
4.1. Les apports en vitamines antioxydantes.....	p 97
4.1.1. La vitamine E.....	p 97
4.1.2. La vitamine C.....	p 97
4.2. Les apports en oligoéléments antioxydants.....	p 98
4.2.1. Le zinc.....	p 98
4.2.2. Le cuivre.....	p 98
4.2.3. Le sélénium.....	p 99
5. Conclusion sur les apports nutritionnels recommandés en vitamine et oligoéléments chez les sportifs.....	p 99

TROISIEME PARTIE : Le sport et les compléments alimentaires.....	p 101
I. Définition légale des compléments alimentaires.....	p 102
II. Les substances autorisées.....	p 103
III. Les substances interdites.....	p 104
IV. Différences entre compléments alimentaires et médicaments.....	p 104
V. Etiquetage des compléments alimentaires.....	p 105
1. Définition d'une allégation.....	p 105
2. Les allégations obligatoires.....	p 106
3. Les allégations facultatives ou interdites.....	p 107
VI. Les produits de l'endurance.....	p 107
VII. Conclusion sur les produits de l'effort.....	p 110

QUATRIEME PARTIE : Enquête sur les habitudes alimentaires des cyclistes amateurs.....	p 111
I. Présentation du questionnaire.....	p 112
II. Interprétation des résultats.....	p 120
1. Présentation des groupes et de leurs habitudes alimentaires.....	p 121
2. Rappel sur les conseils nutritionnels pour les sportifs.....	p 124
3. Analyse de l'alimentation des groupes en vue d'une sortie de plus de trois heures....	p 125
CONCLUSION.....	p 131
BIBLIOGRAPHIE.....	p 132
LISTE DES FIGURES.....	p 140
LISTE DES TABLEAUX.....	p 141
TABLE DES MATIERES.....	p 142
SERMENT DE GALIEN.....	p 150

SERMENT DE GALIEN.

Je jure en présence de mes Maîtres de la Faculté et de mes condisciples :

- d'honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement ;
- d'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec ma conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement ;
- de ne jamais oublier ma responsabilité, mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine, de respecter le secret professionnel.
- En aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser les actes criminels.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères, si j'y manque.

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE

BON A IMPRIMER N°

3342

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE

Vu, le Doyen de la Faculté

VU et PERMIS D'IMPRIMER

LE PRÉSIDENT DE L'UNIVERSITÉ

RESUME :

La réussite en cyclisme passe par l'entraînement mais aussi par l'alimentation.

Afin de comprendre pourquoi l'alimentation en général et certains nutriments en particulier sont plus importants que d'autres, l'étude du métabolisme énergétique est indispensable.

Après l'étude du métabolisme énergétique l'analyse des apports nutritionnels conseillés pour les sportifs permet de donner les meilleurs conseils nutritionnels, que ce soit au quotidien ou à l'approche d'une randonnée. La préparation alimentaire est au moins aussi importante que la préparation physique. L'augmentation des apports glucidiques et hydriques est le point le plus important auquel il faut veiller. L'utilisation de compléments alimentaires vendus en pharmacie, destinés aux sportifs peut être un moyen d'allier qualité des apports et simplicité de prise.

Une enquête alimentaire auprès de cyclistes amateurs permet de démontrer qu'il est aisé de se préparer correctement en vue d'une randonnée suivant les objectifs que l'on se fixe.

NUTRITION – PHARMACIE.

MOTS-CLES : Préparation nutritionnelle, cyclistes amateurs, compléments alimentaires.

« Les habitudes nutritionnelles des cyclistes amateurs » 150 p.

**Faculté de Pharmacie
Laboratoire de biochimie
2, rue du Dr Marcland
87025 LIMOGES CEDEX**