



**HAL**  
open science

## Conseils de nutritions et prise en charge du sportif à l'officine

Kendrik de Regt

► **To cite this version:**

| Kendrik de Regt. Conseils de nutritions et prise en charge du sportif à l'officine. Sciences du Vivant [q-bio]. 2021. dumas-03546681

**HAL Id: dumas-03546681**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03546681>**

Submitted on 28 Jan 2022

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

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

UNIVERSITE CLERMONT AUVERGNE

UFR DE PHARMACIE

Année : 2021

N°

THESE D'EXERCICE

pour le

DIPLÔME D'ETAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE

Présentée et soutenue publiquement

Le 24 juin 2021

par

**Kendrik DE REGT**

## **CONSEILS DE NUTRITIONS ET PRISE EN CHARGE DU SPORTIF À L'OFFICINE**

Directeur de thèse : **Mr Jérémie TALVAS**

**Jury :**

Président :	<b>Mr David BALAYSSAC</b>	Professeur, UFR de Pharmacie de Clermont-Ferrand
Membres :	<b>Mr Jérémie TALVAS</b>	Professeur, UFR de Pharmacie de Clermont-Ferrand
	<b>Mr Francois GEORGIN</b>	Pharmacien
	<b>Mr Alexis BRAMARIE</b>	Pharmacien



## Remerciements :

### **A mon jury,**

A mon président de jury, M. David BALAYSSAC, maître de conférences à la faculté de pharmacie de Clermont-Ferrand et pharmacien. Pour me faire l'honneur de présider le jury de cette thèse. Pour sa disponibilité et ses enseignements me permettant d'aboutir à ces longues années d'études. Sincères remerciements.

A mon maître de thèse, M. Jérémie TALVAS pour avoir accepté de diriger cette thèse, de me conseiller dans le choix du sujet, pour ses précisions et son aide à trouver les bonnes sources d'informations. Je vous présente mes remerciements les plus sincères ainsi que ma profonde reconnaissance.

Aux membres du jury, M. François GEORGIN et M. Alexis BRAMARIE pour leur présence et l'intérêt qu'ils portent à mon travail. Pour avoir accepté de se déplacer afin de juger ce travail. Je vous témoigne par l'intermédiaire de ce travail l'expression de mon respect et de ma gratitude.

### **A ma famille,**

A mes parents, pour les conseils, les encouragements et le soutien au cours de ces nombreuses années universitaires. Pour avoir cru en moi, malgré les difficultés de la vie et des études. Pour m'avoir poussé à arriver là où j'en suis aujourd'hui. Merci pour votre amour.

A ma sœur, pour ses encouragements, pour les moments passés ensemble. Je serai toujours là pour toi. Je t'aime.

A mes grands-parents, pour leur affection et les nombreux moments mémorables passés avec vous que je garde dans ma mémoire et mon cœur. Avec une énorme pensée à Opa et Oma partis trop tôt.

### **A mes amis,**

Daniel, Carlos, Michel, Paco, Alexandre, Elise, Nicolas, Marc, Luna, David, Kevin, Valentin, Romane, ... Merci pour votre présence depuis de si nombreuses années, que ce soit dans les bons moments et les périodes plus compliquées. Pour l'écoute, les conseils et les

encouragements. Merci de m'avoir supporté lors de ces sept longues années d'études. Que ces belles amitiés perdurent le plus longtemps possible.

**A Bérénice,**

Pour son soutien à toutes épreuves et ses encouragements, pour sa présence auprès de moi durant cette année particulière. Je t'aime.

**A l'équipe de la pharmacie des 4 Routes,**

Mr Yann FRANÇOIS et Mr Jean-Emanuel BIGAY, pour m'avoir accepté en tant qu'étudiant dès la 4<sup>ème</sup> année d'étude, puis en tant qu'étudiant-stagiaire de 6<sup>ème</sup> année. Je tiens à vous remercier pour la confiance que vous avez placée en moi en m'acceptant au sein de votre officine. Ces nombreuses heures passées à la pharmacie m'ont énormément apporté que ce soit sur les connaissances pharmaceutique ou la connaissance de moi-même. Merci pour votre patience et vos conseils. Je tiens également à remercier l'ensemble de l'équipe officinale de la pharmacie pour les conseils, les encouragements et la gentillesse de chacun.

**A toutes les personnes,**

M'ayant soutenu et assisté lors de ces années d'études, à toutes les personnes ayant participé à la relecture de ce travail et m'ayant grandement aidé dans sa réalisation.

## Table des matières :

1.	Listes des tableaux et figures :.....	7
2.	Définitions et abréviations : .....	8
3.	Introduction : .....	9
4.	La biochimie humaine : .....	10
4.1.	Les différents composés de l'organisme.....	10
4.2.	La molécule énergétique du muscle : l'ATP .....	26
4.3.	Le métabolisme des glucides : .....	26
4.4.	Les différentes filières métaboliques :.....	29
5.	Physiologie humaine : .....	32
5.1.	La compartimentation du corps humain : .....	32
5.2.	Réponses physiologiques aiguës et chroniques :.....	33
5.3.	Les facteurs influant sur l'organisme et sa réponse :.....	33
5.4.	Structure et fonctionnement musculaire : .....	34
5.5.	La digestion :.....	45
5.6.	Régulation hormonale :.....	54
6.	Le sportif :.....	66
6.1.	Endurance et résistance : .....	67
6.2.	Le rapport énergie/calories : .....	68
6.3.	Comparatif de dépenses énergétiques : sédentaire vs sportif : .....	69
6.4.	Les composés nutritifs nécessaires au sportif :.....	74
6.5.	La question du poids et des régimes : .....	75
6.6.	L'influence du microbiote digestif : .....	86
7.	Recommandations nutritionnelles chez le sportif :.....	88
7.1.	Les apports protéiques : .....	88
7.2.	Les lipides dans l'alimentation du sportif : .....	91
7.3.	La place des glucides : .....	94
7.4.	La place des fibres alimentaires :.....	99
7.5.	Eau et pratique sportive : .....	99
7.6.	Minéraux et sels minéraux : .....	101
7.7.	Les vitamines .....	108
7.8.	Les micro-constituants : .....	118
7.9.	Complémentation et supplémentation : .....	120
7.10.	Le cas du dopage : .....	124
8.	Le nutriment dans l'assiette : .....	126
8.1.	Régime alimentaire :.....	126
8.2.	Préparation avant l'effort : .....	132

8.3. Pendant l'effort : .....	136
8.4. Post-effort et récupération : .....	137
9. Conclusion : .....	141
10. Bibliographie : .....	143
11. Annexes : .....	146
12. Serment de Gallien : .....	160

# 1. Listes des tableaux et figures :

<i>Figure 1 - Quantité de minéraux pour un individu de 70kg.....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 2 - Teneurs en fibres pour divers aliments.....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 3 - Evolution de la glycémie dans le temps.....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 4 - Index glycémique de divers aliments (liste plus importante en annexe).....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 5 - Les différents acides gras.....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 6 - La molécule de cholestérol.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 7 - le Rétinol .....</i>	<i>22</i>
<i>Figure 8 - La vitamine D3.....</i>	<i>23</i>
<i>Figure 9 - La vitamine E.....</i>	<i>23</i>
<i>Figure 10 - Vitamine K1 et Vitamine K2 .....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 11 - La navette carnitine.....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 12 - La molécule d'ATP.....</i>	<i>26</i>
<i>Figure 13 - La voie anaérobie alactique .....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 14 - Les différentes filières énergétiques.....</i>	<i>32</i>
<i>Figure 15 - Les différents tissus musculaires .....</i>	<i>34</i>
<i>Figure 16 - Structure d'un muscle .....</i>	<i>35</i>
<i>Figure 17 - Structure de la fibre musculaire .....</i>	<i>35</i>
<i>Figure 18 - Le système sarcotubulaire .....</i>	<i>37</i>
<i>Figure 19 - Schéma de la contraction musculaire.....</i>	<i>38</i>
<i>Figure 20 - Classification des fibres musculaires .....</i>	<i>42</i>
<i>Figure 21 - Les acides biliaires .....</i>	<i>48</i>
<i>Figure 22 - Les sites intestinaux d'absorption .....</i>	<i>50</i>
<i>Figure 23 - Les transporteurs des sucres .....</i>	<i>51</i>
<i>Figure 24 - Le système endocrinien.....</i>	<i>57</i>
<i>Figure 25 - Variation du glucose et de l'insuline plasmatique.....</i>	<i>61</i>
<i>Figure 26 - Le système rénine/angiotensine.....</i>	<i>64</i>
<i>Figure 27 - Les dépenses énergétiques attribués à chaque activité .....</i>	<i>66</i>
<i>Figure 28 - Dépenses calorique selon la naqe .....</i>	<i>73</i>
<i>Figure 29 - Le rapport poids/performance.....</i>	<i>75</i>
<i>Figure 30 - L'intérêt des séances à jeûne .....</i>	<i>80</i>
<i>Figure 31 - Fréquences des troubles alimentaires dans différents sports.....</i>	<i>82</i>
<i>Figure 32 - Comparaison marathonien vs judoka.....</i>	<i>83</i>
<i>Figure 33 - Les cycles futiles .....</i>	<i>86</i>
<i>Figure 34 - Proportion des substances dopantes dans le sport.....</i>	<i>126</i>
<i>Figure 35 - Aliments pour régime omnivore (pour 2500kcal).....</i>	<i>129</i>
<i>Figure 36 - Aliments pour régime végétarien (pour 2500kcal).....</i>	<i>131</i>
<i>Figure 37 - Exemple de repas sur une journée.....</i>	<i>133</i>
<i>Figure 38 - Exemple de repas la veille d'une épreuve.....</i>	<i>135</i>
<i>Figure 39 - Le planning nutritionnel de la récupération .....</i>	<i>140</i>

## 2. Définitions et abréviations :

- VO<sub>2</sub>max : débit maximale d'oxygène que l'organisme peut absorber afin de répondre à ses besoins lors d'un effort physique.
- PA/Potentiel d'action : phénomène électrique apparaissant après une stimulation électrique, lors d'une modification du potentiel de repos.
- PNNS : Plan National de Nutrition Santé
- RNP : Recommandations nutritionnelles pour la population
- AG : Acide Gras
- CrP : Créatine-Phosphate
- CMA : Capacité Maximale Aérobie ; vitesse maximale permettant de solliciter au maximum la VO<sub>2</sub>max.
- MC : Masse Corporelle
- MM : Masse Maigre
- MG : Masse Grasse
- ATP : Adénosine Tri-Phosphate
- ADP : Adénosine Di-Phosphate
- ADH : Anti-Diuretic Hormone
- PMA : Puissance Maximale Aérobie : puissance à laquelle la consommation d'oxygène de l'individu est maximale lors d'un effort physique.

### 3. Introduction :

La nutrition est la transformation et l'utilisation d'aliments consommés, afin de produire de l'énergie et de répondre aux besoins de l'organisme. Le lien entre alimentation et santé est indéniable, cette première influence le fonctionnement de l'organisme, et est vectrice d'un potentiel bénéfique pour la santé, mais également de facteurs négatifs. L'approche globale que nous avons pour l'alimentation se définit par l'holisme (= théorie stipulant que l'homme est un tout indivisible qui ne peut être expliqué par ses différentes composantes - physique, physiologique, psychique - considérées séparément). Il est impossible de se passer des apports alimentaires et hydriques, auquel cas la situation se dégrade et conduit au décès.

Dans notre société de consommation, où la mondialisation ne cesse de croître, la « malbouffe » et les fast-foods sont omniprésents, les maladies cardiovasculaires et métaboliques sont de plus en plus présentes : 39% des plus de 18 ans étaient en surpoids en 2016, et cela ne touche plus désormais que les pays « riches ». Ce problème de santé publique est pris au sérieux en France, avec la mise en place des PNNS (Plan Nationaux de Nutrition et Santé), nous en sommes actuellement au 4<sup>ème</sup>, lancé en 2019 et allant jusqu'en 2023. Ce plan a comme ligne directrice l'intégration du nutri-score pour les produits alimentaires, un travail avec les acteurs économiques pour améliorer la qualité nutritionnelle des produits vendus. Il présente également des directives pour les personnels de santé, avec un encouragement à prescrire et proposer l'activité physique ainsi qu'un renforcement de l'éducation nutritionnelle par une action sur les populations jeunes et âgées, ainsi que par des actions locales.

La promotion de la pratique physique est un des objectifs de ce plan national, elle est accessible pour tout le monde, il existe une multitude de disciplines afin de répondre aux goûts de chacun. De plus la pratique d'une activité physique se fait à divers niveaux, que ce soit amateur, semi-professionnel ou professionnel. Les raisons de sa pratique sont variables, que ce soit pour une recherche de performance, par habitude et/ou passion, recherche d'une perte de poids ou prise de masse musculaire, en tant que thérapie, etc .... La pratique d'une activité est reliée à un état de bonne santé, tout comme la nutrition : il existe un lien entre nutrition et activité. Les deux agissent en synergie dans le bon fonctionnement de l'organisme.

Le corps humain est un assemblage de composés biochimiques et de systèmes agissant en synergie. On retrouve différents nutriments que l'organisme consomme pour assurer le fonctionnement du système musculaire, du système nerveux, du système digestif ou encore du système endocrinien. Les sportifs sont des individus comme tout le monde, cependant certaines caractéristiques évoluent selon la pratique physique et la discipline pratiquée. Cette différence entre personnes actives et sédentaires est importante pour la prise en charge de l'individu, et même au sein de la population sportive, il existe différentes sous-populations selon les régimes alimentaires.

Malgré ces différentes alimentations possibles, l'organisme a des besoins nutritionnels en différents substrats, et c'est ici que la nutrition entre en jeu par les références nutritionnelles pour la population. L'alimentation recommandée est faite pour tous les jours, dans des conditions normales. Cependant la vie d'un sportif est rythmée par l'entraînement et la compétition. Ces apports sont adaptés aux besoins du corps face à l'entraînement régulier et nécessite des adaptations pour la préparation, les compétitions ainsi que pour les phases de récupération.

## 4. La biochimie humaine :

### 4.1. Les différents composés de l'organisme

#### 4.1.1. L'eau :

L'eau représente la plus grande partie de la masse du corps humain (environ 70% d'eau), sa proportion varie selon les organes. De même dans les aliments ingérés : 10 à 20% d'eau dans les céréales et jusqu'à 95% d'eau dans certains fruits et légumes. L'eau est vitale pour l'être humain, par sa prédominance dans le corps mais également par ses propriétés physiques. L'eau est apportée par la boisson ou les aliments, un apport hydrique suffisant correspond à 1500ml par jour sachant que le corps élimine 1500ml d'eau/j. Elle assure ses fonctions dans l'organisme via ses propriétés physico-chimiques :

- C'est un solvant, qui permet de servir de milieu de transport (ex : le plasma qui transporte les nutriments et déchets métaboliques)
- Elle entre dans les réactions, notamment l'hydrolyse (fréquent lors de la digestion, tel que l'hydrolyse du saccharose en glucose et en fructose).

- Elle joue le rôle de vecteur thermique : elle absorbe et libère une certaine quantité de chaleur, pour compenser les variations thermiques : c'est la thermorégulation
  - o Lors d'un effort physique la circulation sanguine répartit l'eau sur la peau sous forme de transpiration. La respiration l'élimine également sous forme gazeuse.
- Propriété de protection mécanique : l'eau sert de lubrifiant (comme le mucus qui protège les muqueuses) ou d'amortisseur mécanique (le liquide céphalorachidien assure la protection du système nerveux central).

#### 4.1.2. Les micro-nutriments

##### 4.1.2.1. Les minéraux :

On considère plusieurs sous-catégories, en fonction des quantités dans l'organisme. Les macro-éléments sont présents en grande quantité, cela correspond au calcium, phosphore, potassium, soufre, sodium, chlore et magnésium.

Minéraux	Calcium	Phosphore	Potassium	Soufre	Sodium	Chlore	Magnésium
Quantité (g)	1000	700	250	200	100	100	40

Figure 1 - Quantité de minéraux pour un individu de 70kg

On arrive ensuite aux micronutriments, présents en quantité moins importante, soit moins de 10g. Ce sont l'iode, le fluor, le fer, le zinc et le brome. Et on complète avec les oligoéléments présents en quantité infime (des traces inférieures à 0.1g) : Cuivre, Manganèse, Cobalt, Silicium, Chrome, étain, molybdène. Ces oligoéléments qui se présentent sous forme d'électrolytes jouent des rôles importants : transmission des PA, contraction musculaire, mouvement cellulaire, transport de l'oxygène ou encore co-facteur enzymatique.

##### 4.1.2.2. Les vitamines :

Celles-ci n'ont pas de rôle énergétique mais interviennent dans les mécanismes métaboliques de l'organisme. Les besoins dépendent de l'âge et du mode de vie, également du sexe, de l'état pathologique et de l'activité physique pratiquée.

Il existe des cas de carences ou des déficits d'apports chez diverses populations, que ce soient les femmes pour l'acide folique et le fer, ou un ensemble de vitamines chez les régimes restrictifs/végétalisme. Pour cela, les compléments alimentaires présentent un fort

intérêt, afin de pallier ce déséquilibre alimentaire. Ne pas oublier de rappeler aux patients, que ces compléments alimentaires ne représentent pas une alternative à un régime alimentaire équilibré et régulier, que ces compléments ne doivent être utilisés qu'en cas de carence. La surconsommation est le risque principal, accroissant le risque d'hypervitaminose néfaste pour l'individu (notamment pour les vitamines A, D, B6 et C).

#### 4.1.3. Les glucides :

Les glucides sont des molécules très importantes, leur catabolisme représente la principale source d'énergie de l'organisme : soit 50 à 55% de l'apport énergétique (= 250 grammes de glucides par jour). Ils assurent des rôles biologiques tel que le stockage énergétique (sous forme de glycogène), de structure (cellulose), unité de base des molécules fondamentales (ATP, coenzymes), la maturation post-transcriptionnelle, la reconnaissance et différenciation cellulaire, pour les réactions Ag/Ac, ...

Ils sont apportés par les aliments d'origine végétale sous forme d'amidon et peuvent avoir une origine endogène (via la mobilisation des réserves, ou par la biosynthèse à partir de molécules non glucidique). L'ose est la principale unité constitutive des glucides, on distingue selon la composition divers glucides :

- Glucides simples : constitués d'un ose (glucose, fructose)
- Glucides complexes : constitués d'au moins deux oses :
  - Les hétérosides : constitué de x oses et d'une fraction aglycone/non glucidique(mucopolysaccharide)
  - Les olosides : constitué uniquement d'oses
    - Les oligosides : assemblages d'un petit nombre d'oses (saccharose, lactose)
    - Les polyholosides/polysaccharides : assemblages d'un grand nombre d'oses
      - Homoglycanes : polymères du même ose (ex : amidon)
      - Hétéroglycanes : polymères d'oses différents (hémicellulose)

#### 4.1.3.1. Les oses

Ce sont des composés formés de carbone, hydrogène et oxygène, décrit par la formule :  $C_n(H_2O)_n$ . Caractérisé par la présence d'une fonction carbonyle et de plusieurs fonctions alcool. La distinction entre les différents oses repose sur le nombre d'atomes de carbones, la nature du carbonyle et la position de la fonction alcool. Ils sont solubles dans l'eau. Parmi les oses présentant un intérêt alimentaire, on trouve le Ribose (pentose) et le glucose, le fructose et le galactose (ce sont des hexose).

- Le glucose, glucide simple le plus important pour l'organisme, essentiellement utilisé à des fins énergétiques (les globules rouges et neurones n'utilisent que celui-ci). On le retrouve dans l'alimentation sous forme libre dans des fruits (cerise, raisin) ou dans le miel. Mais il est également retrouvé sous forme polymérisé (amidon, cellulose)
- Le fructose est présent dans certains fruits (pomme, poire, raisin, cerise, ...), mais peut être associé au glucose et ainsi former du saccharose (canne à sucre, betterave)
- Le galactose est associé au glucose pour donner du lactose, sucre présent dans le lait.

#### 4.1.3.2. Polyosides :

Également appelé glycanes, ce sont de grosses molécules constituées d'un assemblage de plusieurs centaines à plusieurs milliers d'oses identiques (=homoglycanes) ou différents (=hétéroglycanes). Généralement, ils participent à la constitution de la paroi cellulaire ou aux réserves de la cellule végétale. On distingue alors les polyosides assimilables, digérés par les enzymes digestives, permettant une absorption et assimilation par le tube digestif.

##### (1) L'amidon

On le trouve dans la cellule végétale, les plantes le synthétisent via la photosynthèse pour être un glucide de réserve. Présent dans les graines de céréales (blé, maïs, orge, riz, seigle, ...), les graines légumineuses (pois, haricot, lentille, ...), les tubercules (pomme de terre, manioc, ...) et certains fruits (châtaigne, banane). L'amidon est la source de glucose alimentaire la plus répandue. Il est composé de 2 polymères de glucoses que sont l'amylose et l'amylopectine. L'amidon est un composé insoluble en milieu aqueux, mais possède une capacité de rétention d'eau de 40%. En chauffant la préparation (70-80°C) l'association de polymère est fragilisée donnant une solution aqueuse : l'empois d'amidon. L'amidon est plus digestible et facilite l'action des enzymes digestive.

(2) Glycogène :

Polysaccharide de réserve spécifique de la cellule animale, stocké dans le cytosol des cellules hépatiques et musculaires. Il possède une structure semblable à l'amylopectine (avec un nombre plus important de ramification, compactant la molécule et optimise son stockage et son métabolisme). Il représente un faible apport alimentaire, car la maturation de la viande de boucherie provoque sa disparition. Il reste tout de même très présent dans le foie, la viande de cheval non maturée et certains mollusques. Au niveau digestif il est digéré par les enzymes pancréatique et le suc intestinal, donnant un glucose assimilable par le tube digestif.

4.1.3.3. *Fibres alimentaires :*

Constituants provenant du monde végétal. Non digestibles par l'appareil digestif humain : ceci veut ainsi dire qu'elles ne sont pas absorbées au niveau de l'intestin grêle mais qu'elles progressent vers le gros intestin par l'intermédiaire du chyme. Parmi ces fibres, on considère également certains extraits végétaux, tels que les additifs alimentaires, les mucilages, les graines, les gommes extraites d'arbres. On retrouve l'inuline et l'acide phytique qui ne sont pas assimilables. On considère deux types de fibres, ayant des rôles physiologiques distincts : les fibres solubles et les fibres insolubles.

(1) Les fibres solubles :

Caractérisées par deux propriétés principales :

- Hydrosolubles : le métabolisme glucidique et lipidique a une biodisponibilité diminuée du fait de la solubilité de ces fibres. Elles réduisent le contact chyme/entérocyte, allongeant le séjour gastrique : se crée un retard dans l'absorption des oses et un amoindrissement du pic glycémique. Elles réduisent l'activité des lipases intestinales et piègent les molécules de cholestérol et les sels biliaires.
- Fermentescibles : le colon renferme une très grande quantité de bactéries ( $10^9$  à  $10^{11}$  bactéries par gramme) et d'enzymes nécessaires à la digestion des différentes fibres alimentaires. Ces fibres possèdent diverses vertus protectrices et préventives de cancer (notamment pour le colon), stimulante du système immunitaire, ainsi que métabolique (pas effet satiétogène : réduction de la vidange gastrique et de la densité énergétique des aliments)

(2) Les Fibres insolubles :

Elles aussi sont caractérisées par trois propriétés :

- Régulatrice du transit intestinal par un effet de stimulation du péristaltisme et de la contraction colique, on voit une accélération du transit.
- Détoxifiantes via leur propriété de réduction du contact entre colon/contenu gastrique, les polluants toxiques sont alors moins absorbés.
- Métaboliques : l'effet de diminution des glucides et des lipides permet aussi de diminuer la recapture du cholestérol et des acides biliaires.

Parmi les fibres alimentaires que nous croisons régulièrement dans l'alimentation, nous retrouvons : la cellulose, l'hémicellulose, la pectine et la lignine. Ces fibres alimentaires sont donc fréquemment retrouvées dans le monde végétal, tel que les céréales, légumes verts, les jeunes pousses de végétaux et les baies et fruits à pépins. Les teneurs des fibres solubles et insolubles sont variables d'un végétal à un autre. Attention, une consommation trop importante en fibre alimentaire peut être à l'origine de douleurs et de diarrhées.

<b>Aliments</b>	<b>Teneur en fibre (g pour 100g d'aliments)</b>
<b>Céréales</b>	
<b>Son de blé</b>	47.5
<b>Riz Complet</b>	9.1
<b>Riz Blanc</b>	3
<b>Pain complet</b>	8.5
<b>Pain Blanc</b>	2.7
<b>Flocon d'avoine</b>	7.2
<b>Légumineuse</b>	
<b>Haricot blanc</b>	25.5
<b>Pois chiche</b>	15
<b>Lentille</b>	11.7
<b>Petits pois</b>	6.3
<b>Légumes</b>	
<b>Carotte</b>	3.7
<b>Pommes de terre</b>	3.5
<b>Chou</b>	3.4

<b>Tomate</b>	1.4
<b>Fruits</b>	
<b>Amande</b>	14.3
<b>Noix</b>	5.2
<b>Banane</b>	3.4
<b>Pomme</b>	1.4

Figure 2 - Teneurs en fibres pour divers aliments

#### 4.1.3.4. Les sources :

Principalement retrouvé dans les céréales, végétaux, fruits et légumes ou les produits à base de sucre. On est capable de distinguer les glucides simples dans les fruits et légumes, des glucides complexes des féculents. On retrouve 15g de glucides pour 80g de pommes de terre, 30g de pain blanc, 65g de riz blanc ou de pâtes, 60g de légumineuses, 200g de légumes verts, 1 pomme, 2 kiwis, 250g de fraises, 20g de fruits à coque, 20g de confiture, ¼ d'une tablette de chocolat

#### 4.1.3.5. L'index glycémique

C'est un critère de classement des aliments, basé sur la réponse glycémique dans les deux heures suivant l'absorption d'un glucide, tout en prenant en compte que le pouvoir hyperglycémiant est comparé à celui du glucose. Plus l'indice glycémique est élevé, plus le pouvoir glycémique de l'aliment est important.

Pour le déterminer, on donne une quantité totale de glucide fixe de l'aliment à étudier et la même quantité fixe de l'aliment de référence : on établit une courbe du taux de glucose dans le sang en fonction du temps (au cours des deux heures après ingestion). S'en suit un calcul du rapport de surface sous la courbe de l'aliment étudié et de l'aliment de référence, multiplié par 100.

$$IG = \frac{S_{\text{Aliment}}}{S_{\text{Test}}} \times 100$$

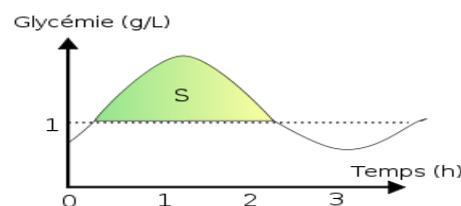


Figure 3 - Evolution de la glycémie dans le temps

L'indice glycémique reflète la vitesse d'absorption des glucides par l'intestin grêle. Un ralentissement de l'absorption du glucose de glucide à IG faible est lié à une faible élévation

de la glycémie en post prandiale et donc une diminution de la réponse insulinique et des hormones intestinales : favorise l'oxydation des acides gras libres et ainsi leur utilisation. Inversement, un régime alimentaire riche en glucide à IG élevé conduit à une hyperglycémie et une hyper-insulinémie récurrente : l'oxydation des acides gras libre est moindre lors de la digestion et favorise le stockage des lipides au lieu de leur utilisation.

Produits	IG faible	IG moyen	IG élevé
Sucres	Fructose	Saccharose	Glucose, miel
Fruits	Pomme, poire, orange, raisin	Banane, kiwi, ananas	Pastèque
Pains	Pains céréales	Pain blanc	Pain complet, baguette
Céréales	Pâtes	Riz, couscous	Riz rapide
Légumes	Petits pois	Pomme de terre, carotte, betterave	Frites, purée
Confiserie	Chocolat	Chips, barre	
Gâteaux		Croissant, pâtisserie	Gaufre
Produits laitiers	Yahourt, lait, ...	Crèmes glacées	

Figure 4 - Index glycémique de divers aliments (liste plus importante en annexe)

#### 4.1.4. Les Lipides :

##### 4.1.4.1. Généralités :

C'est un groupe de substance insoluble dans l'eau (= hydrophobe), mais solubles dans les solvants organiques. Ils se structurent en un acide gras (= chaîne hydrocarbonée) terminé par un radical acide carboxylique (COOH).

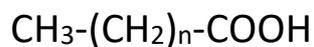
Utilisés par l'organisme dans la structure des membranes biologique et dans certaines activités biologiques (en tant que médiateur biologique, tel que les hormones stéroïdiennes), également en tant que source d'énergie pour les efforts prolongés et peu intense. Notre corps les stocke sous forme de graisse, les quantités de graisses stockées sont toujours plus importantes que les glucides, que ce soit en quantité ou en énergie potentiellement disponible : leur apport est à limiter. La classification des lipides se fait en deux grands groupes, selon leur structure :

- Les lipides simples, constitué d'atomes de Carbone, d'Hydrogène et d'Oxygène. On retrouvera alors les acides gras (AG), les glycérides, stérides et cériques.
- Les lipides complexes renferment les mêmes atomes que précédemment, auxquels s'ajoutent les atomes de Phosphore, d'Azote, de Soufre.

NB : un troisième groupe peut être distingué, ce sont les composés à caractères lipidiques, qui rassemble les dérivés stérols et les vitamines liposolubles.

#### 4.1.4.2. Les Acides gras :

Éléments essentiels à un organisme, les AG sont constitués d'une fonction carboxylique et d'une chaîne aliphatique (= chaîne carbonée plus ou moins longue). Ils sont caractérisés par le fait de posséder un nombre pair de carbones et une chaîne aliphatique linéaire.



On différencie les lipides à leur nombre de carbones et de la présence ou non d'insaturation (= double liaison au niveau de la chaîne carbonée). Pour différencier les AG, on suit un système de notation qui est le suivant : (16 : 0), qui signifie que notre acide gras est composé de 16 atomes de carbones avec 0 insaturations, c'est l'acide palmitique.

D'un point de vue structurale, la position des insaturations par rapport au méthyl terminal, détermine la classification physiologique des acides gras : c'est la classification  $\omega$ . Il existe ainsi des familles d'acides gras possédant chacune une position particulière de cette première double liaison :  $\omega_3$ ,  $\omega_6$ , etc ...

D'après les caractéristiques énumérées précédemment, on observe diverses catégories d'AG :

- Les Acides Gras Saturés : aucune double liaison sur la chaîne aliphatique (Ex : C18 : 1  $\omega_9$  : Acide oléique).
- Les Acides Gras Monoinsaturés : une seule double liaison sur la chaîne aliphatique
- Les Acides Gras Polyinsaturés : 2 ou plusieurs doubles liaisons sur la chaîne aliphatique. (Ex : C18 : 2  $\omega_6$  : acide linoléique, C18 : 3  $\omega_3$  : acide linoléénique).

Ne pas oublier de prendre en compte la configuration spatiale des acides gras insaturés, pour les formes « cis-» lorsque les doubles liaisons sont du même côté, et les formes « trans-» lorsque les doubles liaisons sont au-dessus et en dessous. Les formes cis sont principalement retrouvées dans la nature, tandis que les formes trans sont retrouvés dans des produits modifiés à la suite d'une hydrogénation partielle des acides gras, d'origine industrielle, à limiter.

Nom acide gras	Notation
<b>Acide gras saturés :</b>	
Acide Butyrique	C4 : 0
Acide Laurique	C12 : 0
Acide Myristique	C14 : 0
Acide palmitique	C16 : 0
Acide Stéarique	C18 : 0
Acide Arachidique	C20 : 0
<b>Acide Gras Monoinsaturés</b>	
Acide palmitoléique	C16 : 1 $\omega$ 7
Acide Oléique	C18 : 1 $\omega$ 9
Acide Erucique	C20 : 1 $\omega$ 9
<b>Acide Gras polyinsaturés</b>	
Acide Linoléique ( $\alpha$ -linoléique)	C18 : 3 $\omega$ 3
Acide Ecosapentaénoïque (EPA)	C20 : 5 $\omega$ 3
Acide Docosahexaénoïque (DHA)	C22 : 6 $\omega$ 3
Acide Linoléique	C18 : 2 $\omega$ 6
Acide Arachidonique	C20 : 4 $\omega$ 6

Figure 5 - Les différents acides gras

On retrouve dans ce tableau des AG « indispensables », à apporter par l'alimentation car non synthétisables par l'organisme : l'acide linoléique et l'acide  $\alpha$ - linoléique.

#### 4.1.4.3. Les stérols :

Ce sont des composés tétracyclique, composés de 27 à 28 atomes de carbones.

(1) Le cholestérol :

Présent dans divers tissus, on le retrouve dans le cerveau et la moelle épinière. Présent uniquement dans les aliments d'origine animale. La production endogène reste le principal mode de production, organisé par le foie et l'intestin. Complété par les apports alimentaires (environ 30%) : abats, graisses animales, jaunes d'œufs, viandes, ...

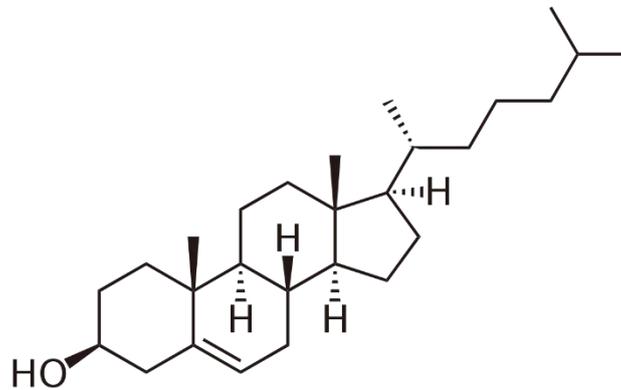


Figure 6 - La molécule de cholestérol

C'est un alcool, qui présente un noyau stérane et une chaîne latérale, il a donc pour formule brute :  $C_{27}H_{45}OH$ . La production endogène de cholestérol suffit normalement pour pallier les besoins de l'organisme. Le cholestérol est capable de circuler dans le sang, à l'aide de transporteurs, pour former des lipoprotéines :

- Les LDL (Low Density Lipoprotein), assurent la distribution du cholestérol du foie aux différents tissus de l'organisme. Celles-ci transportent le « mauvais cholestérol »
- Les HDL (High Density Lipoprotein) ramène le cholestérol des tissus vers le foie, on le considère comme le « bon cholestérol »
- Les VLDL (Very Low Density Lipoprotein) qui prend en charge les triglycérides.

On recommande une concentration suffisante en HDL-cholestérol, afin de diminuer le risque cardiaque, dans le cas contraire d'un taux élevé en LDL-cholestérol qui tend à favoriser la formation d'une plaque d'athérome.

(2) Les phytostérols :

Ce sont des stérols à faible absorption intestinale. Ils présentent un fort intérêt, par leur capacité à inhiber l'assimilation du cholestérol d'origine alimentaire. Très présents dans les huiles végétales et céréales, il est recommandé d'en consommer.

#### 4.1.4.4. Les Triglycérides :

Association de triesters d'acides gras et de glycérol, les triglycérides (TG) sont les constituants essentiels des corps gras alimentaires. Ils ont une structure homogène (trois acides gras semblables, reliés par un glycérol) ou mixte (des acides gras différents reliés par un glycérol). Ils ont une origine endogène et exogène. Le risque cardio-vasculaire est augmenté en cas d'excès. Ils représentent la forme de stockage majoritaire des lipides (environ 80 à 90% des lipides sont stockés sous forme de TG)

L'inconvénient avec ceux-ci est leur accessibilité pour le métabolisme, ils doivent subir une multitude de réactions afin de passer d'un stade complexe (Triglycéride) à une forme utilisable par le corps (glycérol et acide gras). Une certaine quantité de lipide apporte plus d'énergie qu'une même quantité de glucide :  $9.4\text{kcal.g}^{-1}$  contre  $4.1\text{kcal.g}^{-1}$

#### 4.1.4.5. Les vitamines Liposolubles :

Ce sont des apparentés aux lipides, ceci à cause de leur caractère insoluble en milieu aqueux. Ce sont des molécules ne présentant aucune valeur énergétique, mais tout de même indispensable à l'organisme, malgré le fait de ne pas être synthétisable et doivent donc être apportées par l'alimentation.

##### (1) La vitamine A (Rétinol) :

Retrouvé dans les aliments d'origine animal (huile de foie de morue, foie, beurre, jaune d'œuf, ...), sous forme estérifié, en compagnie de l'acide palmitique. L'action des sels biliaire et de la lipase pancréatique permet de digérer et d'absorber la vitamine A. Dans les végétaux (carotte, épinard, melon, etc...), elle sera sous forme de provitamine A (=caroténoïde tel que le  $\beta$ -carotène) et est transformé par le foie en rétinol. Le foie est le lieu de stockage du rétinol dans l'organisme. La distribution se fait par l'intermédiaire de la Retinol Binding Protein (RBP), qui prélève le rétinol dans le foie pour l'apporter aux organes qui en ont besoin. Les principales fonctions de la vitamine A concernent :

- La vision (avec entre autres l'adaptation vision diurne/vision nocturne)
- La croissance et la différenciation cellulaire et de cicatrisation (par l'acide rétinoïque)
- Des propriétés antioxydantes via la provitamine A (neutralise les radicaux libres).

Le surdosage en vitamine A est toxique, l'hypervitaminose est à éviter (toxicité digestive et neurologique).

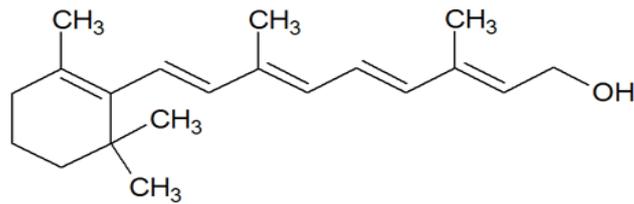


Figure 7 - le Rétinol

(2) La vitamine D (calciférol)

C'est une molécule appartenant au groupe des stérols. On la retrouve en faible quantité dans les aliments végétaux (= Vitamine D2), et les produits d'origine animale (tel que les poissons gras, le foie, le jaune d'œuf), on parle alors de vitamine D3. Le précurseur de cette molécule est le cholestérol. Par diverses réactions chimiques, le cholestérol se retrouve à former la vitamine D3, sous l'effet d'ultra-violet. Ces réactions ont ainsi lieu au niveau du derme, à l'origine d'une source endogène en vitamine D.

La vitamine D est également présente en grande quantité au niveau du foie, où elle est prise en charge par une protéine de transport (la DBP pour D-Binding Protein), pour être acheminé jusqu'aux reins, où de nouvelles réactions ont lieu, pour aboutir à la formation de calcitriol : la forme active de la vitamine D. Le calcitriol est un facteur hormonal. Ses activités sont réparties sur 3 niveaux :

- Augmente l'absorption du calcium et du phosphore par les entérocytes
  - Action sur les ostéoclastes et ostéoblastes afin de stimuler le remaniement osseux et la minéralisation des cartilages de croissance
  - Stimule la réabsorption du phosphore et du calcium par les reins
- ⇒ Pour résumer, le calcitriol a pour but d'augmenter la concentration sérique en calcium et phosphore.

De plus, il agit en association avec la parathormone, hypercalcémiant également, et qui agit sur l'hydroxylation rénale de la vitamine D et donc à la formation de calcitriol. On observe également une synergie avec la vitamine C, celle-ci sert de co-enzyme pour les hydroxylation.

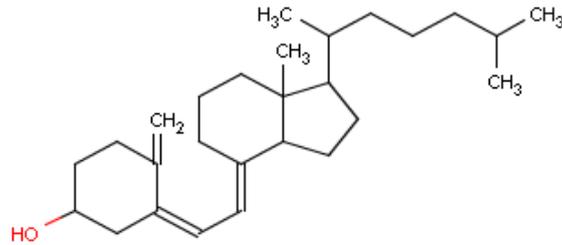


Figure 8 - La vitamine D3

(3) La vitamine E :

Cette molécule est un phénol, présente en quantité dans l'alimentation sous forme d'ester de tocophérol. Pour être absorbé il nécessite la présence de sels biliaires et d'une lipase pancréatique. Au niveau des entérocytes, la vitamine E est incorporée dans les chylomicrons, puis passe dans la lymphe ainsi que dans le sang. Elle est par la suite récupérée par le foie, afin d'être redistribuée aux restes des organes par l'intermédiaires de lipoprotéines tel que les LDL et HDL. Elle est stockée dans les tissus adipeux, le foie et les glandes surrénales. C'est une vitamine qui est antioxydante, stabilisatrice des membranes cellulaires contre l'attaque des radicaux libres. Cette propriété a essentiellement lieu au niveau des cellules sanguines (plaquettes et hématies), également au niveau des LDL (afin de réduire leur transformation en LDL oxydé très athérogène). Il est important de noter que la vitamine C a un rôle important dans la régénération de la vitamine E après neutralisation des radicaux libres.

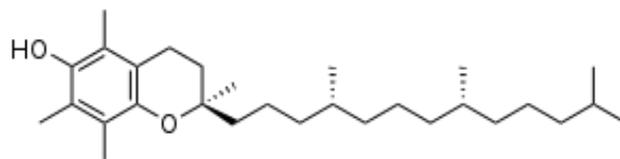


Figure 9 - La vitamine E

(4) Vitamine K

On reconnaît principalement 2 catégories de vitamines K : les vitamines K1 présentent majoritairement dans l'alimentation végétal (chou, épinard, persil, etc ...) et les vitamines K2 qui ont une origine animale (foie, viande, ...). La vitamine K possède également une origine endogène puisque la flore intestinale est capable de la biosynthétiser. On compte également sur les LDL pour distribuer cette vitamine à l'ensemble des organes en ayant besoin. Cette

vitamine agit en tant que cofacteurs pour certaines carboxylases. La principale fonction physiologique de la vit K est sa fonction antihémorragique.

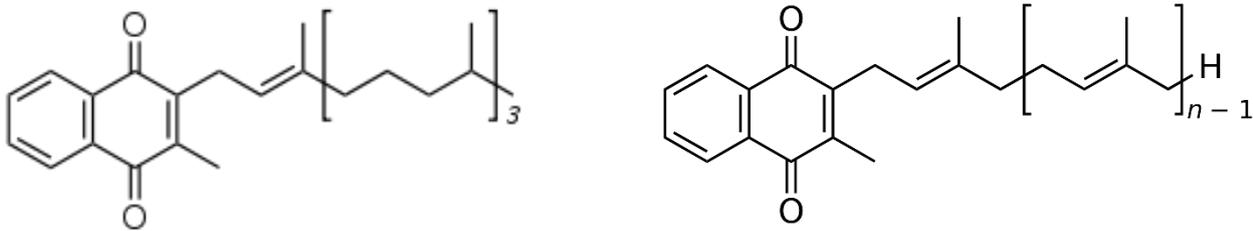


Figure 10 - Vitamine K1 et Vitamine K2

#### 4.1.4.6. Le catabolisme des acides gras :

Les acides gras sont transportés dans le compartiment sanguin jusqu'aux cellules cible. Une fois dans le cytoplasme, les AG sont activés pour pénétrer dans la mitochondrie, cela nécessite de consommer 2 ATP pour former de l'Acyl-CoA, sous l'effet de l'Acyl-CoA Synthétase. La navette carnitine permet le passage de la membrane interne en remplaçant le groupement CoA pour obtenir l'Acyl-carnitine. La translocase permet de pénétrer la membrane. L'Acyl-CoA est ensuite régénéré en intra-mitochondrial via la carnitine acyltransferase II.

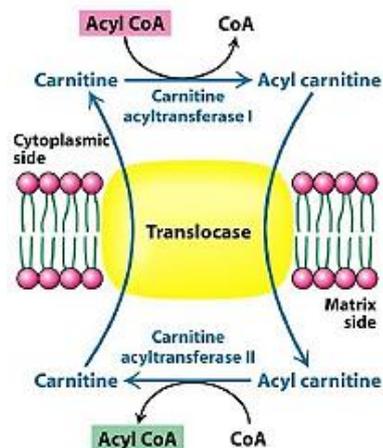


Figure 11 - La navette carnitine

Une fois dans la mitochondrie, l'hélice de Lynen mène le phénomène de  $\beta$ -oxydation. 4 réactions ont lieu pour permettre l'oxydation du carbone  $\beta$  des Acyl-CoA. Chaque tour d'hélice réduit l'acyl-CoA de 2 carbones. Les réactions dans l'ordre sont déshydrogénation, hydroxylation en  $\beta$ , oxydation de l'alcool en cétone et libération d'un acétyl-CoA et d'un acyl(n-2)-CoA. Cette dernière étape est la thiolyse



Le rendement énergétique de la  $\beta$ -oxydation varie selon le nombre d'acide gras pris en charge dans les réactions. La formation d'une NADH,H permet de produire 3ATP, le FADH<sub>2</sub> produit 2 ATP, la chaîne respiratoire apporte 12 ATP, et l'activation nécessite l'utilisation de 2 ATP. La production de la  $\beta$ -oxydation, pour des acides gras à nombre pair de carbone, est  $(n \times 3) + (n \times 2) + ((n+1) \times 12) - 2$ .

Le même mécanisme a lieu pour les acides gras mono-insaturés, le seul changement est la présence d'un tour incomplet. Ce tour ne comporte pas de première étape, il y aura donc un FADH<sub>2</sub> de moins.

#### 4.1.5. Les protéines :

##### 4.1.5.1. Rôle :

Elles ont un rôle structural majeur dans la composante musculaire de l'individu. Elles assurent un rôle dans la croissance, dans l'entretien et le fonctionnement tissulaire, sur le stockage de l'information, le transport de signal, la défense immunitaire, la motricité et la régulation (enzymatique, hormonal, immunitaire).

##### 4.1.5.2. Classification :

Les protéines sont une succession d'acides aminés, on dénombre vingt-neuf de ces dernières, parmi lesquels on compte neufs acides aminés « essentiels » que l'alimentation doit fournir (car non synthétisable par l'organisme) : la Leucine, Thréonine, Lysine, Tryptophane, Phénylalanine, Valine, Méthionine, Isoleucine et Histidine. On considère également des Acides aminés « semi-essentiels », non synthétisable en cas de diminution de synthèse endogène ou d'augmentation des besoins : Cystéine, glutamine, Taurine, Arginine.

##### 4.1.5.3. Capacité énergétique :

L'organisme n'est pas capable de faire de réserve pour les protéines, d'où la nécessité de consommer des sources en protéines à chaque repas pour couvrir les besoins, par de la viande/des œufs/des légumineuses/etc. Cependant, dans certaines circonstances, elles acquièrent la capacité d'être source d'énergie, elles doivent alors être converties en glucose ou en acide gras (en cas de situation particulière de privation alimentaire), les mécanismes impliqués sont la glucogénèse pour passer des protéines à glucides et la lipogénèse pour aller des protéines vers les lipides.

Les protéines représentent 5 à 10% de l'énergie dont l'organisme a besoin pour un effort prolongé. Il est important de savoir que 1 gramme de protéine apporte 4.1kcal.

## 4.2. La molécule énergétique du muscle : l'ATP

Pour les réactions métaboliques de l'organisme, seul l'ATP (Adénosine Tri Phosphate) est disponible. Elle est composée d'une molécule d'adénosine (1 adénine + 1 ribose) associée à 3 phosphates inorganiques. Les liaisons entre l'adénosine et les Pi sont des liaisons de fortes énergies. Lorsque l'ATPase intervient pour rompre la liaison des deux derniers Pi, elle libère 7.3 kcal.mole<sup>-1</sup>, voir même 10kcal.mole<sup>-1</sup> dans certaines conditions. Après intervention de l'enzyme ATPase, il nous reste alors une molécule d'ADP (Adénosine Di-Phosphate).

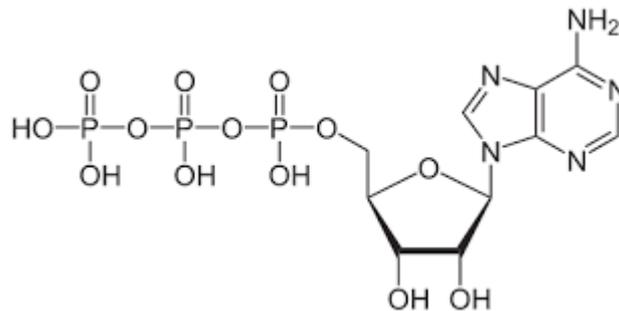


Figure 12 - La molécule d'ATP

L'ADP nouvellement formé redevient une molécule d'ATP, via diverses étapes de phosphorylations : fixation d'un groupement phosphate sur la molécule d'ADP. Ces réactions de phosphorylations sont indépendantes ou nécessitent de l'oxygène (on parle de phosphorylation oxydative). L'ATP néo-formée peut ensuite être à nouveau dégradée pour donner à nouveau de l'énergie. Les stocks d'ATP dans les cellules sont très faibles. Le stock doit ainsi être fréquemment renouvelé.

## 4.3. Le métabolisme des glucides :

### 4.3.1. Absorption et distribution du glucose :

La grande majorité du glucose est absorbé après hydrolyse en monomère par les enzymes. Ils sont assimilés par les entérocytes de la muqueuse intestinale. Le glucose est hydrosoluble et est transporté dans le plasma, il passe par le foie après être extirpé de l'intestin grêle, via la veine porte. Le foie récupère une partie majoritaire du glucose, corrigeant rapidement l'hyperglycémie constatée. Le glucose est internalisé par les transporteurs GLUT.

### 4.3.2. Glycolyse – voie d'Embden-Meyerhof

Cette voie métabolique correspond à l'oxydation du glucose à la suite de la prise d'un repas (phase post-prandiale). Pour une molécule de glucose, celle-ci donne 2 pyruvates, 2 ATP et 2 NADH,H<sup>+</sup>. Cette réaction chimique, catalysé par des enzymes a lieu dans le cytosol et nécessite 10 réactions enzymatiques lors de 3 étapes. On retrouve 3 réactions irréversibles, catalysés par l'hexokinase, la phosphofructokinase et la pyruvate kinase.



Le pyruvate est envoyé dans la mitochondrie pour former l'ATP. Les réactions précédentes peuvent se répéter, il faut alors régénérer le NADH,H<sup>+</sup> en NAD<sup>+</sup>. Selon le niveau d'oxygénation, 2 possibilités s'offres à nous.

#### 4.3.2.1. *En contexte aérobie :*

A ce moment-là, la cellule a suffisamment d'oxygène, le pyruvate est oxydé dans les mitochondries. Dans ce contexte, l'ATP synthase régénère le NAD<sup>+</sup>, tout en produisant 3 ATP. Ceci via la navette malate-aspartate (il existe la navette glycérol-phosphate qui elle possède un rendement de 2 ATP). Donc lors d'une situation aérobie, nous formons 6 ATP en plus des 2 ATP formé par la glycolyse, ce qui nous donne un rendement énergétique de 8 ATP par molécule de glucose.

#### 4.3.2.2. *Contexte anaérobie :*

Lorsque l'approvisionnement de la cellule en oxygène est insuffisant, la chaîne respiratoire mitochondriales est inefficace et ne régénère plus le NAD<sup>+</sup>. Généralement ce phénomène est provoqué lors d'un effort physique intense. Se met en place une voie alternative afin de ne pas bloquer la glycolyse : la fermentation lactique. La régénération du NAD<sup>+</sup> est assurée par le pyruvate qui devient accepteur d'électrons et de protons, formant du lactate. Cette réaction est réversible et est catalysé par la lactate-déshydrogénase. Le lactate est alors un déchet métabolique, transporté par le sang jusqu'au foie pour être éliminé ou jusqu'au cœur pour servir de substrat énergétique (une fois retransformé en pyruvate). Lorsque ce lactate est produit en trop grande quantité, il y a des problèmes d'acidifications occasionnant des crampes musculaires. Le bilan énergétique de ce contexte est de 2 ATP produit par molécule de glucose.

#### 4.3.3. Voie des pentoses phosphates :

Cette voie métabolique emploie également le glucose-6-phosphate, cependant cette voie ne produit pas d'ATP mais forme 2 NADPH,H<sup>+</sup> et 1 ribose 5-P. L'enzyme qui intervient ici est la glucose-6-phosphate-déshydrogénase. La voie des pentoses phosphates est reliée à la glycolyse dans certaines cellules, tel que les adipocytes, où les besoins en NADPH,H<sup>+</sup> sont plus importants qu'en ribose 5-P. Alors l'excès en pentose phosphate est converti en glycéraldéhyde 3-phosphate et en fructose-6-phosphate, utilisable dans la glycolyse.

Cette voie métabolique possède un bilan énergétique nul : elle ne produit pas et ne consomme pas d'ATP. La régulation de cette voie se fait en fonction du rapport NADPH,H<sup>+</sup>/NADP<sup>+</sup> : si le rapport augmente, on observe une inhibition de l'enzyme et de la voie. On retrouve cette voie dans un certain nombre de cellules :

- Le foie : biosynthèse de cholestérol et d'Acide gras
- Le tissu adipeux : biosynthèse d'acide gras
- Les globules rouges : utilisation du NADPH,H<sup>+</sup> pour la réduction du glutathion oxydé (via la glutathion réductase) et ainsi permettre la détoxification des produits toxiques provenant des mécanisme aérobie (tel que le peroxyde d'hydrogène H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).

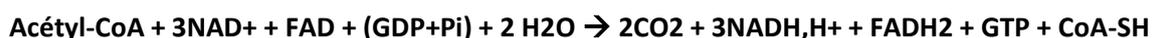
#### 4.3.4. Métabolisme du fructose :

Le fructose est un ose absorbé par l'intestin grêle, pour passer dans le sang et être transporté librement. Il est métabolisé par le foie pour participer à la glycolyse. Le fructose est également capté par le tissu musculaire et le tissu adipeux. Lorsque le fructose se retrouve dans le cytosol, il est phosphorylé par la fructokinase, tout en consommant 1 ATP. On obtient du fructose-1-phosphate, clivé par la fructose-1-phosphate aldolase, produisant du dihydroxyacétone-phosphate et du glycéraldéhyde. La triose kinase consomme 1 ATP pour phosphoryler le glycéraldéhyde afin qu'il puisse continuer la glycolyse sous la forme de G3P.

De plus c'est un métabolisme très rapide (grâce à la vitesse des enzymes) : le métabolisme du fructose est plus énergétique que le glucose. La régulation est indépendante du contrôle hormonal (y compris l'insuline). En cas d'apport de fructose trop important, la biosynthèse d'acide gras est favorisée.

#### 4.3.5. Cycle de Krebs :

C'est la voie d'utilisation oxydative complète des substrats énergétiques : cela représente la voie de dégradation complète des glucides, des acides gras, des acides aminés ou encore des corps cétoniques. Ce mécanisme possède également un versant anabolique, en fournissant les précurseurs nécessaires à diverses biosynthèses. Afin de rentrer dans le cycle de Krebs, les molécules devront être dégradés en un intermédiaire : l'acétyl-CoA. Une succession de réaction prennent en charge les substrats pour permettre la production d'énergie, selon le bilan suivant :



Le NADH,H<sup>+</sup> et le FADH<sub>2</sub> sont réoxydés par la chaîne respiratoire, l'oxygène joue un rôle très important d'accepteur final d'électrons, lorsque nous sommes dans des conditions aérobies. L'ATP synthase va former 3 ATP par NAD<sup>+</sup> régénérés et 2 ATP pour chaque FAD.

⇒ Cela nous donne donc 12 ATP produits par molécule d'acétyl-CoA.

Dans le cas d'une molécule de glucose : la glycolyse produit 8 ATP, la décarboxylation oxydative produit 6 ATP (2 pyruvates/glucose) et 24 ATP sont donné par le cycle de Krebs → Cela nous donne donc 38 molécules d'ATP par molécule de glucose fournit. Il y aura également consommation de 6 O<sub>2</sub> (qui libère 6 CO<sub>2</sub>) et libération de 38 molécules d'eau.

#### 4.4. Les différentes filières métaboliques :

##### 4.4.1. La voie anaérobie alactique :

Cette voie intervient lorsqu'il y a un manque d'oxygène, sans production de lactate, on observe dans le muscle un effet de la créatine kinase qui retransforme l'ADP en ATP. Cette voie utilise donc l'ATP et la phospho-créatinine comme substrat. Les bilans énergétiques sont de 1 ATP par molécule de substrat. Les réserves consommées proviennent des muscles. Cette filière est mise en place lors d'efforts intenses. Elle propose une puissance très élevée, capable de doubler entre un sédentaire et un sportif de haut niveau. Cependant elle dépend de la capacité musculaire du sujet. Pour cela l'exercice et la teneur en protéine sont prépondérantes, si le sujet augmente sa synthèse protéique, il doit accroître ses apports protéiques, et augmente ainsi sa capacité musculaire. La capacité maximale est dépendante des réserves d'ATP et de CrP.

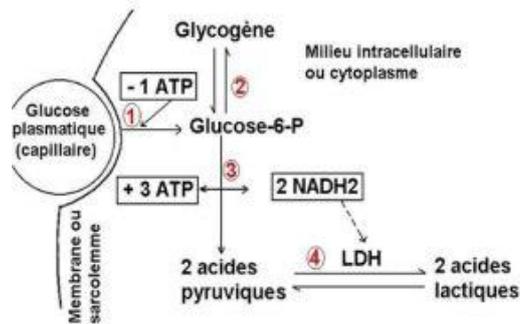


Figure 13 - La voie anaérobie alactique

Etant donné que les réserves en CrP sont faibles, la puissance maximale n'est maintenue que durant quelques secondes, ensuite une autre filière énergétique prend le relais. Des apports en ATP ou autres molécules semblables sont inefficaces dans le but d'augmenter les réserves en CrP. Puisque les réserves sont très vite régénérées à la fin de l'exercice. Une supplémentation de créatine entraîne une élévation de la CrP musculaire de 0 à 20%, il n'est pour l'instant pas démontré une toxicité pour ces suppléments. Cependant, les besoins sont couverts par les apports nutritionnels quotidiens et la synthèse naturelle par l'organisme.

#### 4.4.2. La voie anaérobie lactique :

La glycolyse anaérobie dégrade le glycogène de réserve musculaire en pyruvate puis en lactate : c'est la glycolyse anaérobie. Ce mécanisme se met en place rapidement. Face au manque d'oxygène, il n'y a pas d'oxydation des corps réduits, pour éviter un excès de ces corps réduits et de pyruvate, se développe un transfert d'ion  $H^+$  pour former du lactate.

On atteint une puissance allant jusqu'à 5 kW, cette filière est mise en place pour des efforts courts, n'excédant pas 1 minute. La puissance est cependant limitée par l'activité enzymatique, la glycolyse anaérobie et le nombre de fibre de type IIB, ainsi que de la masse musculaire et l'entraînement (dont la réponse à l'entraînement). Tandis que la capacité maximale est limitée par un pH qui diminue, et l'accumulation de lactate dans les tissus musculaires. La consommation de boisson bicarbonatés en amont de l'effort (environ 2 heures avant), permet d'augmenter le pouvoir tampon du muscle afin d'augmenter la quantité de travail, afin de retarder l'apparition de la fatigue. Ceci n'est malgré tout pas recommandé, du fait des effets indésirables digestifs et métaboliques (pouvant conduire à une alcalose

métabolique et arrêt respiratoire), le fait de venir modifier l'équilibre physiologique de l'organisme présente des risques.

#### 4.4.3. Filière aérobie :

La chaîne respiratoire mitochondriale libère de l'énergie, permettant une resynthèse de l'ATP, ceci à l'aide d'oxygène, et produisant de l'eau lors de l'oxydation des corps réduits. Les acides aminés musculaires représentent un faible contingent des substrats nécessaires à cette réaction, ceci de l'ordre de 5 à 15%. Une molécule de glucose assure la resynthèse de 38 molécules d'ATP. L'énergie récupérée lors de cette réaction est donc très importante, et la quantité énergétique fournie par les réserves adipeuses est bien plus élevée que l'énergie tirée des réserves musculaires. Cependant, le temps de mise en action de la lipolyse est long, il est nécessaire d'attendre 10-20 minutes au cours d'un effort pour enclencher le phénomène consommant les réserves de tissu adipeux. Et plus l'effort tient dans le temps, plus la quantité d'acide gras brûlé est importante. Certains facteurs interviennent aussi sur la quantité d'AG consommé, on compte les réserves en glycogènes, le degré d'entraînement et la constitution biologique de l'individu et également le taux de lactate.

Dans cette filière, la  $VO_2\text{max}$  correspond à la puissance maximale, on compte alors plusieurs facteurs limitants, comme le débit ventilatoire, le taux d'hémoglobine, un débit cardiaque maximal et un volume d'éjection systolique, la pression artérielle, le volume musculaire (une masse musculaire suffisante est nécessaire pour avoir une  $VO_2\text{max}$  importante), ainsi que le taux en oxygène. Quand on s'intéresse à la capacité maximale, qui est reliée à l'endurance, on détermine la Capacité maximale aérobie, quantité maximale d'énergie que les réserves libèrent à la suite de l'oxydation de celle-ci lors d'un exercice. L'endurance maximale aérobie correspond au délai nécessaire pour épuiser les réserves lors d'un effort à un certain degré de la PMA. Le facteur limitant principal est la réserve de glycogène musculaire. Plus les réserves sont importantes, plus la CMA augmente, on est capable de faire croître ces réserves, à l'aide de régime alimentaire chargé en glucide. Il faut également prendre en compte la capacité à consommer les réserves adipeuses, afin de consommer les réserves musculaires en glycogènes, ceci peut être géré en déterminant l'intensité d'effort à ne pas dépasser pour passer de la filière aérobie à anaérobie.

Filière	Anaérobie alactique	Anaérobie lactique	Aérobie
<b>Substrats énergétique</b>	ATP, phosphocréatine	Glucose	Glucose, AG
<b>Métabolites</b>	ADP, créatine	Acide lactique	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O (urée)
<b>Bilan énergétique par molécule de substrat</b>	1 ATP	2-3 ATP/Glycosyl	>36 ATP/Glycosyl
<b>Présence d'oxygène</b>	Non	Non	Oui
<b>Réserves d'énergie</b>	Muscle	Muscle	Muscle, tissu adipeux
<b>Durée des épreuves couvertes</b>	0 à 20 sec	20 secondes à 2 minutes	2 minutes à plusieurs heures
<b>Exemples d'exercices</b>	Force, vitesse	Résistance	Endurance
<b>Exemple d'épreuve</b>	Haltérophilie, 100m plats, lancers, sauts	400m plat, 100m natation, vélo	1500m à marathon
<b>Délai de récupération</b>	2 à 10 min	1h et plus	Quelques heures à quelques jours

Figure 14 - Les différentes filières énergétiques

## 5. Physiologie humaine :

### 5.1. La compartimentation du corps humain :

L'individu en tant que tel, correspond à un ensemble d'éléments, présents en plus ou moins grande quantité. Nous allons séparer l'individu en divers compartiments regroupant des éléments ayant une fonction physiologique commune, indépendamment de leur localisation anatomique et de leur nature chimique. L'ensemble de l'individu correspond à la Masse Corporelle (MC). A partir de celle-ci, on distingue :

- La Masse Grasse (MG), soit 10 à 30% du poids corporel. C'est un compartiment virtuellement dépourvu d'eau. Il a 4 rôles essentiels : réserve énergétique, isolant thermique, protection contre les chocs et la synthèse hormonale. Il est important de préciser qu'il est vital et il doit représenter au moins 3% de la MC.
- La Masse Maigre (MM), qui est la somme de l'eau, des os, des organes et des muscles : c'est un compartiment « polymorphe ». Elle représente 70 à 90% de la MC. Majoritairement constitué d'eau (environ 73% = Eau Extracellulaire + Eau Intracellulaire), toute diminution de la MM est un signe de dénutrition et/ou de

déshydratation et est un signe d'alerte, car une diminution de ce compartiment est une menace plus importante pour la santé, qu'une diminution de la MG.

On distingue dans la masse maigre, la masse minérale osseuse et l'eau extracellulaire. La masse minérale osseuse correspond à 5% de la MC, elle est composée de cristaux de phosphates tricalciques : le squelette de l'individu, il arrive que sa proportion diminue en cas d'ostéoporose. L'eau extracellulaire quant à elle représente 20% de la MC : ce sont tous les liquides interstitielles et le plasma (= la masse liquidienne facilement échangeable). On l'ajoute à l'eau intracellulaire pour avoir l'eau corporelle totale (= 60% de la MC).

Si on prend la masse maigre, à laquelle on retire l'eau extracellulaire, on obtient la masse cellulaire active. Cette masse comprend les protéines (soit 10% de la MC, possède un rôle structurel, défense immunitaire, mécanisme enzymatique, une diminution de plus de 50% des protéines n'est pas compatible avec la survie), l'eau intracellulaire (= 40% de la MC), les glucides stockés (soit une part négligeable de la masse de l'organisme : < 1% de la MC)

## 5.2. Réponses physiologiques aiguës et chroniques :

On distingue les exercices isolés (courses d'une heure) des exercices chroniques (qui ont lieu sur le long terme et qui résultent de la répétition d'exercices isolés : on parle alors d'adaptations chroniques ou d'effet de l'entraînement : tel que l'adaptation de la fonction cardiovasculaire après 6 mois d'entraînement en endurance). Le but de la physiologie sportive est de déterminer comment le corps réagit et répond au stress induit par la répétition d'exercice. Cependant les adaptations sont spécifiques du type d'entraînement réalisés.

- ➔ Avec un entraînement de force, les muscles deviennent plus puissants
- ➔ Avec un entraînement aérobie, le cœur et les poumons sont plus efficaces et la capacité d'endurance augmente

## 5.3. Les facteurs influant sur l'organisme et sa réponse :

Divers facteurs influencent la réponse de notre organisme à un exercice isolé, en particulier les conditions environnementales, qui doivent être considérées : les conditions météorologiques (la température, l'humidité, la lumière ou même le bruit) sont capables de modifier notre réponse, que ce soit au repos ou lors d'un exercice. L'heure de l'exercice, ainsi que celle du dernier repas sont également à prendre en compte, de même pour la quantité et

la qualité du sommeil avant la performance. Le cycle menstruel est également à prendre en compte car celui-ci peut engendrer des variations considérables sur le poids corporel, la température centrale, le niveau métabolique, la fréquence cardiaque.

#### 5.4. Structure et fonctionnement musculaire :

Les muscles permettent la vie, certains permettent de nous mouvoir, d'autres sont là pour la respiration, pour la digestion, pour assurer le fonctionnement cardiaque... On distingue 3 catégories de muscles capable d'assurer les multiples fonctions :

- Les muscles squelettiques, responsable des mouvements volontaires, ils s'insèrent sur le squelette et dépendent du système nerveux somatique.
- Le tissu musculaire myocardique, il forme le cœur, et est animé d'un mouvement rythmique et automatique, et n'est que simplement régulé par le SN autonome.
- Les muscles lisses (ou viscéral), dépendent du système nerveux autonome et assure tous les mouvements involontaires (on le retrouve dans la paroi des organes creux, des vaisseaux, du derme).



Figure 15 - Les différents tissus musculaires

##### 5.4.1. Le muscle squelettique :

Également appelés muscles du contrôle volontaire, ils possèdent une insertion osseuse et assurent le mouvement. On compte plus de 600 muscles squelettiques. L'exercice implique des mouvements, rendu possible par le bon fonctionnement des muscles squelettiques. Le nombre de fibres musculaires par muscles est variable, allant de 10 000 à 1 millions selon le muscle.

Le muscle squelettique présente un corps, avec des tendons aux extrémités (afin d'ancrer le muscle sur le squelette). On observe des cellules musculaires striés squelettiques : les rhabdomyocytes, disposés côte à côte. Toutes ces cellules se rassemblent en faisceau.

- L'épimysium : tissu conjonctif qui recouvre le muscle (composé d'une grande quantité de petits paquets de fibres enveloppés).
- Le périmysium est le tissu conjonctif qui entoure chaque faisceau de fibres.
- L'endomysium est également un tissu conjonctif, entoure chaque fibre musculaire.

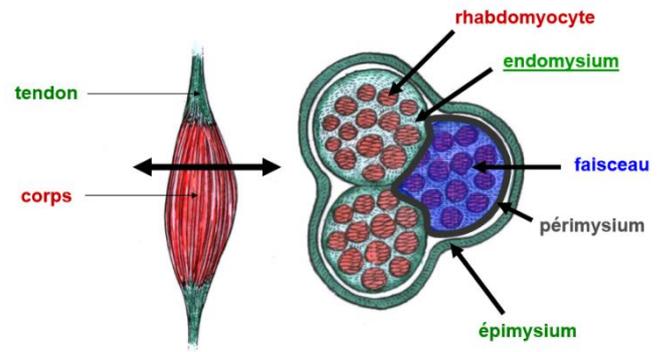


Figure 16 - Structure d'un muscle

Les rhabdomyocytes sont des cellules plurinucléées, les noyaux sont en périphérie de la cellule. Ces cellules peuvent atteindre quelques centimètres de long, pour répondre à la longueur de certains muscles. On distingue au sein des fibres musculaires, le sarcolemme (membrane plasmique entourant la fibre musculaire), le sarcoplasme (substance gélatineuse remplissant les espaces entre les myofibrilles), les tubules transverses (extensions du sarcoplasme formant un réseau qui transverse dans la fibres musculaires) et le réticulum sarcoplasmique (réseau de tubules longitudinaux, qui est le lieu de stockage du calcium)

Chaque fibre musculaire contient quelques centaines, voire quelques milliers de myofibrilles (élément contractile du muscle squelettique). Ces myofibrilles sont composées de nombreux sarcomères (unité fonctionnelle et fondamentale de la myofibrille) accolés entre eux par les bandes Z. Le sarcomère quant à lui est composé d'une alternance de bandes sombres et de bandes claires (une bande sombre A au centre, entouré de chaque côté par des bandes claires I), centré par une strie Z (plus foncé) : un sarcomère s'étend d'une strie Z à une autre → 1 sarcomère =  $\frac{1}{2}$  bande I + 1 bande A +  $\frac{1}{2}$  bande I.

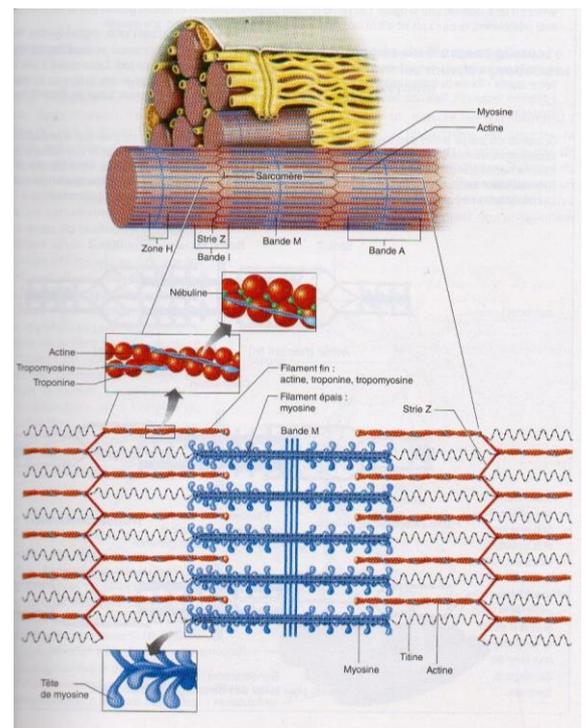


Figure 17 - Structure de la fibre musculaire

On observe également des filaments épais composés de myosine : la bande M (chaque filament est composé d'environ 200 molécules de myosine mise bout à bout, avec de chaque côté une

« tête de myosine », point d'union interagissant lors de la contraction musculaire. Ces filaments sont stabilisés par de la titine. La nébuline (adjacente à l'actine) joue un rôle dans la régulation de l'interaction entre actine et myosine.

En plus de ces filaments épais, on a des filaments fins ou filaments d'actine, composés d'actine, tropomyosine et troponine. Chaque filament s'attache par une extrémité sur une strie Z, l'autre extrémité s'étendant au sarcomère entre les filaments de myosine. On retrouve la nébuline qui est accrochée à l'actine, dont le rôle est de réguler la longueur du filament fin. Chaque filament d'actine possède des sites actifs où vient s'attacher les têtes de myosine. La tropomyosine est une protéine fibrillaire qui entoure les filaments d'actine et qui vient se placer dans l'espace qui les sépare. La troponine est une protéine plus complexe qui est attachée à intervalles réguliers. La tropomyosine et la troponine sont toutes deux impliquées, avec les ions calciums, dans la contraction ou le relâchement de la myofibrille.

#### 5.4.2. Contraction de la fibre musculaire :

La contraction du muscle squelettique a lieu en réponse à un influx nerveux émis par le système nerveux. Le motoneurone- $\alpha$  est capable d'innervier plusieurs fibres musculaires. L'ensemble des fibres innervées par les ramifications d'un seul et même motoneurone- $\alpha$  constitue la plaque motrice. On parle alors de jonction neuro-musculaire lors d'une synapse entre une fibre musculaire et un moto-neurone.

##### 5.4.2.1. *Le déclenchement de la contraction musculaire :*

Connu sous le nom de couplage excitation-contraction. Cet évènement a lieu dès l'arrivée d'une stimulation nerveuse ou potentiel d'action (PA), provenant du système nerveux central. Lors de l'arrivée de l'influx nerveux au niveau du bouton synaptique, il y a libération d'acétylcholine, qui se fixe sur des récepteurs spécifiques placés sur le sarcolemme. Si suffisamment de récepteurs sont stimulés, un signal électrique est produit puis est transmis à la fibre musculaire grâce à l'ouverture des canaux ioniques membranaires. Une fois que ces canaux sont ouverts, se produit une entrée massive de sodium (= on parle de dépolarisation), à l'origine du potentiel d'action, étape indispensable à la contraction musculaire.

#### 5.4.2.2. Le rôle du calcium :

Après la dépolarisation, l'impulsion électrique avance dans la cellule, via le réseau de tubules transverses et le réticulum sarcoplasmique (RS). L'arrivée du PA entraîne une libération d'ion calcium (stocké dans le RS).

Les tubules Transverses (tubules T) sont situés en regard des stries Z, alors que le réticulum sarcoplasmique est lui composé de tubules longitudinaux anastomosés formant un réseau irrégulier : un tubule T n'est associé qu'à une torsion de réticulum sarcoplasmique, afin de former une diade. Les tubules permettent la diffusion de l'onde de dépolarisation afin de libérer le calcium.

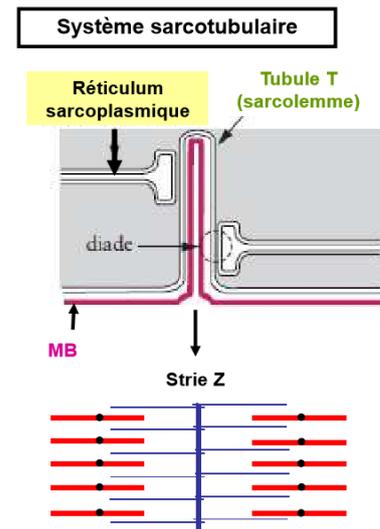


Figure 18 - Le système sarcotubulaire

Une fois que le calcium est libéré pour transmettre le PA, les ions viennent s'attacher sur la troponine, en raison de leur grande affinité pour cette dernière. Ceci déclenche le mécanisme de la contraction.

#### 5.4.2.3. La contraction :

Au repos, la tête de myosine reste proche d'un site actif de l'actine, mais la liaison moléculaire est inhibée par la tropomyosine.

Lors du phénomène de contraction, on observe un basculement des complexes troponine-tropomyosine, libérant les sites actifs d'actine. Ce phénomène entraîne une libération des sites de liaisons des têtes de myosine, permettant alors la formation de pont acto-myosine (liaison entre les têtes de myosine et le filament d'actine). On parle de la théorie des filaments glissants : lorsqu'une tête de myosine s'attache à un filament d'actine, formant un pont d'acto-myosine, les deux filaments glissent l'un sur l'autre : le bras du pont établi entre l'actine et la tête de myosine exerce une attraction moléculaire très forte qui conduit à un basculement de la structure vers le centre du sarcomère, entraînant le filament d'actine avec lui (et un raccourcissement du sarcomère), qui va alors glisser. Cette bascule est à l'origine de la force produite par le muscle et donc la contraction.

Après la bascule de la tête de myosine, celle-ci quitte le site actif, retourne à sa position originale et s'attache au site actif suivant sur le filament d'actine. Cette succession de liaisons,

et la puissance générée permet le glissement des filaments les uns sur les autres et donc la contraction musculaire. Ce phénomène se produit jusqu'à ce que les filaments de myosine atteignent les stries Z ou que le calcium soit repompé par le RS.

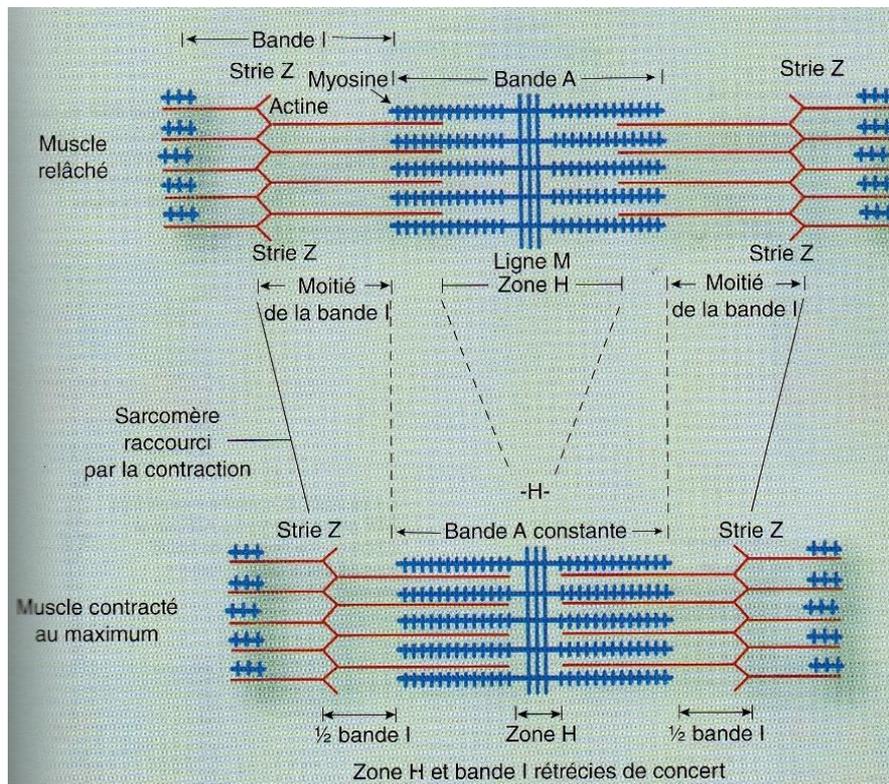


Figure 19 - Schéma de la contraction musculaire

#### 5.4.2.4. L'énergie et la contraction musculaire :

La contraction musculaire nécessite de l'énergie. La tête de myosine possède ainsi des sites de liaison pour l'adénosine triphosphate (ATP). L'ATP fournit l'énergie, nécessitant donc que la myosine se lie également à l'ATP pour permettre la contraction. Le filament de myosine se fixe à l'ATP lors de la libération des sites de myosine. Une enzyme, l'ATPase, située sur la tête de myosine, catalyse la transformation de l'ATP en ADP+Pi, libérant de l'énergie. Cette énergie est utilisée pour lier la tête de myosine au filament d'actine et donc initier le mouvement.

➔ L'ATP est source d'énergie chimique pour la contraction musculaire !

La libération d'ADP permet de reformer le pont transversal formé entre actine et myosine. Le phénomène vu précédemment va ainsi se répéter plusieurs fois, pouvant aller de 9 à 12

cycles. Cependant, pour que le muscle assure une activité contractile suffisante, l'ATP doit être fournies rapidement par le métabolisme.

#### 5.4.2.5. *La fin de la contraction musculaire :*

La contraction a lieu tant qu'il y a du calcium dans le cytoplasme. A la fin de la contraction, le calcium est repompé par le RS, qui le stock pour un prochain PA, ce retour se fait via des pompe calcique ATPdépendante.

Une fois le calcium repompé, on a une dissociation des complexes troponine-tropomyosine, masquant à nouveau les sites de liaisons. Les sites de liaisons plus disponible, cela induit alors la relaxation et le retour à l'état de repos pour la myofibrille.

#### 5.4.3. Les différents types de fibres musculaires :

Toutes les fibres ne sont pas identiques, les muscles contiennent différents types de fibres :

- Fibres de type I (dit fibre lente ou fibre rouge), capables de se contracter en 110ms. Elles représentent généralement 50% d'un muscle.
- Fibres de type II (dit fibre « à contraction » rapide ou fibre blanche), capables de se contracter en 50ms. On distingue plusieurs catégories de fibres rapides :
  - o Les fibres de type IIa, représentant 25% des fibres d'un muscle.
  - o Les fibres de type IIb, soit 22-24% d'un muscle.
  - o Les fibres de type IIc, ne représentent que 1 à 3% de la structure fibrillaire du muscle.

Le pourcentage exact des différentes catégories de fibres musculaires est variable d'un muscle à l'autre, et entre chaque individu. Les proportions sont d'autant plus différentes chez les athlètes, en fonction de la pratique sportive, mais également de par la génétique.

#### 5.4.3.1. *Caractéristiques des fibres de type I et type II*

(1) ATPase

Les fibres de types I sont appelés fibres lentes, car elles possèdent une myosineATPase « lente » qui hydrolyse l'ATP plus lentement lors d'un influx nerveux. Tandis que les fibres de type II ont des myosine ATPase « rapide » qui assure ainsi une contraction rapide.

(2) Le réticulum sarcoplasmique :

Les fibres de types II présentent un réticulum sarcoplasmique plus développé que celui retrouvé dans les fibres lentes. Cela explique que la contraction soit plus rapide : cette différence structurale du réticulum sarcoplasmique permet une libération de calcium plus adaptée. Chez l'homme, les fibres de types II ont une contraction 5 à 6 fois plus rapide que les fibres de type I. Ainsi la puissance produite par les fibres de types II est 3 à 4 fois plus importante que chez les fibres lentes. Généralement les muscles des bras et des jambes ont sensiblement la même composition en fibres musculaires (pour un athlète d'endurance, ses muscles des jambes sont riches en fibres de type I, de même que pour les bras).

(3) Les unités motrices :

**1 unité motrice = 1 motoneurone + fibres musculaires innervés.**

Le neurone détermine si une fibre est de type I ou II, en fonction de la quantité de fibres musculaires innervés par un seul et même motoneurone.

- Pour une fibre de type I, le moto-neurone innerve un groupe inférieur ou égal à 300 fibres musculaires.
- Pour une fibre de type II, le moto-neurone a un corps cellulaire plus important ainsi qu'un axone plus volumineux, assurant l'innervation d'un groupe supérieur ou égale à 300 fibres.

Une fibre de type I et une fibre de type II de même largeur vont produire approximativement la même force. Cependant, en général les fibres de types II sont plus larges que les types I. Donc lors d'une stimulation, les unités motrices de types II produisent une force plus importante car les fibres sont plus nombreuses et plus larges.

Un motoneurone innerve une quantité variable de fibres, pour des muscles à mouvements fins, le motoneurone innerve très peu de fibre et inversement pour des muscles qui ont pour but de réaliser des efforts plus importants (exemple : les muscles contrôlant les mouvements des muscles de l'œil ont un rapport d'innervation minimale allant de 1 à 15, contre un rapport de 1 à 2000 pour les muscles jumeau et tibial antérieur).

(4) Particularité des fibres de type I :

Ce sont des fibres lentes, à propriétés aérobies : destinés aux efforts d'endurance. Cette caractéristique indique un besoin d'oxygène pour produire de l'ATP par l'oxydation des

glucides et des lipides. Tant que l'oxydation est possible, les fibres de types I continuent de produire de l'ATP, permettant une activité musculaire. Cette capacité à maintenir une activité musculaire durant dans le temps correspond à ce que l'on appelle communément l'endurance. Ce sont des fibres présentant une capacité d'endurance élevée. Elles sont employées lors d'épreuves longues (marathon, natation) ou pour les activités quotidiennes (nécessitant peu d'énergie, tel que la marche).

(5) Particularité des fibres de type II :

Ce sont des fibres peu durantes. Elles sont sollicitées lors de métabolisme anaérobie. L'ATP provient alors de ce métabolisme anaérobie.

Les fibres de types IIa produisent beaucoup plus de force que les types I mais s'épuisent plus rapidement, à cause de leur faible capacité d'endurance. Ces fibres sont employées lors d'épreuve courte nécessitant un effort intense (1500m en athlétisme ou 400m en natation)

Les fibres de types IIb sont quant à elles beaucoup moins excitables et donc peu sollicités lors des activités quotidiennes ou de faible intensité, mais sont recrutés lors d'un exercice intense dit « très explosif » tel que le 100m ou le 50m nage libre.

#### 5.4.3.2. Détermination du type de fibre :

Il y a une part de génétique qui entre en jeu à ce moment-là, on sait que la composition en fibres musculaires est génétiquement déterminée, et varie très peu lors de l'enfance, jusqu'à l'âge adulte. Le type d'entraînement et le type d'activité physique ou même l'inactivité impacte le développement du muscle. L'entraînement induit un changement mineur (jusqu'à 10%) dans le pourcentage des fibres I et des fibres II. Par exemple, l'entraînement en endurance entraîne une réduction des fibres IIb et une augmentation des fibres IIa. La distribution des fibres varie au cours de la vie, avec une tendance à perdre des fibres II, augmentant ainsi le pourcentage de fibre I.

Classification des fibres	Type I	Type IIa	Type IIb
Capacité oxydative	Elevé	Modéré	Faible
Capacité glycolytique	Faible	Elevé	Très élevé
Vitesse de contraction	Lente	Rapide	Rapide
Résistance à la fatigue	Elevé	Modéré	Faible
Force développée par l'unité motrice	Faible	Elevé	Elevé

Figure 20 - Classification des fibres musculaires

#### 5.4.3.3. Recrutement des fibres musculaires lors d'un exercice :

Lorsqu'un motoneurone stimule une fibre musculaire, il est nécessaire que le PA soit d'une intensité minimale appelé seuil d'excitation. Pour toute excitation égale ou supérieure à ce seuil, il y a une réponse : on parle de loi du tout ou rien. Etant donné qu'une unité motrice innerve plusieurs fibres, une fois le seuil d'excitation dépassé, l'ensemble des fibres se contracte au maximum. Cependant, lorsqu'une faible force est nécessaire, seules quelques fibres sont excitées. La contraction du muscle nécessite un recrutement sélectif au sein des différentes populations de fibres musculaire. Si l'intensité augmente, le nombre de fibres musculaires mobilisés augmente selon l'ordre : fibre I → fibre IIa → Fibre IIb. On sait également que les unités motrices sont activées selon le « principe d'ordre de recrutement ».

Ce principe d'ordre est entre autres expliqué par le principe de taille, c'est-à-dire que l'ordre de recrutement des fibres musculaires dépend de la taille du moto-neurone : les unités motrices présentant un petit moto-neurone sont activées en premier. Lors d'un effort progressif, les unités motrices I sont les premières à être recrutées, en revanche, si la force demandée augmente, il y a sollicitation des fibres de type II. Cependant, cela ne fonctionne que lors de mouvement progressif : actions musculaires d'intensité relative inférieure à 25%.

Par exemple :

- Pour un effort de faible intensité tel que la marche, la force musculaire est uniquement générée par les fibres I
- Pour une intensité un peu plus élevée comme le jogging, on observe un recrutement des fibres de type IIa

- Et pour des exercices d'intensité maximale, lors d'un sprint par exemple, ce sont les fibres de type IIb qui sont recrutées.

Même si l'effort est maximal, le système nerveux ne recrute pas 100% des fibres disponible, afin de prévenir des lésions musculaires ou tendineuses. En cas d'activité physique prolongé, comme un marathon, la tension musculaire est relativement faible, mais continue. Le système nerveux recrute des fibres adaptées pour l'endurance en premier lieux : les fibres de type I et quelques fibres de type IIa. Leur contenu en glycogène s'épuise au cours de l'effort, et l'organisme recrute davantage de fibres IIa afin de poursuivre l'effort. Une fois que les réserves des fibres mobilisées sont épuisées, on recrute en dernier recours les fibres IIb pour poursuivre l'exercice. Cela explique le phénomène de fatigue variable au cours d'un effort prolongé. Il est ainsi important de maintenir l'effort et de garder le même rythme afin d'exciter les fibres difficilement mobilisables et continuer la course.

#### 5.4.3.4. *Type de fibres et performance physique :*

Les sportifs ayant un fort pourcentage de fibre de type I sont avantagés dans les exercices prolongés, tandis que ceux qui ont une prédominance en fibre de type II sont plus performant dans les activités brèves et explosive. Nous allons prendre comme exemple divers activités de courses.

- Chez les coureurs de longues distances, une prédominance de fibre de type I est présente
  - o Chez les coureurs hommes et femmes de haut niveau, les muscles jumeaux, situés au niveau des mollet, présente plus de 90% de fibres de types I.
  - o Chez les champions du monde, les muscles jumeaux renferment entre 93 et 99% de fibres de types I.
- Les sprinteurs quant à eux ne possèdent qu'environ 25% de fibres de types I dans leurs muscles jumeaux. Ces muscles sont principalement composés de fibres de types II.

Evidemment, la composition en fibre musculaire n'est pas gage de réussite sportive, il faut prendre en compte divers facteurs cités précédemment. L'entraînement permet de développer les proportions en fibres nécessaire pour l'activité physique réalisée : un nageur

entraîné possède plus de fibres de type I au niveau des bras qu'un nageur non entraîné (60 à 65% pour le premier, contre 45 à 55% pour le second).

#### 5.4.4. Modalités de la contraction musculaire :

Il existe différents types de contraction musculaire. Chaque contraction musculaire mobilise de façon variable un même muscle. Les différentes contractions :

- Concentrique : lorsque le muscle se raccourcit, il y a glissement des filaments d'actine et de myosine. Cette contraction s'accompagne d'un mouvement d'articulation (= contraction dynamique).
- On parle de contraction statique lorsqu'il y a contraction mais que la longueur du muscle reste la même. Cette contraction porte le nom de contraction isométrique car l'angulation articulaire ne varie pas. C'est lorsque l'on porte quelque chose les coudes fléchis, que la force exercée est égale à la résistance. Ce type de contraction ne permet pas de développer la masse musculaire.
- La contraction est excentrique lors d'un allongement du muscle, associé à un mouvement articulaire (ex : lorsque l'on court dans une descente).
- La contraction pliométrique, correspond à l'association des contractions concentrique tout de suite suivi par une contraction excentrique. (Ex : lorsque l'on fait de la corde à sauter, saut en longueur, ...)

Toute contraction musculaire s'accompagne d'une production de force. Cette production dépend de facteurs : le nombre d'unités motrices actives, leur type, la fréquence de stimulation, la taille du muscle, la longueur initiale du muscle, l'angle de l'articulation, la vitesse de contraction du muscle. La force produite dépend de l'effort demandé.

##### 5.4.4.1. Les unités motrices et la taille du muscle :

La force est proportionnelle aux nombres d'unités motrices mises en jeu. De plus, le type d'unité motrice mise en jeu est à prendre en compte : les unités motrices II produisent plus de force que les I (car elles contiennent plus de fibres musculaires). Pour la même raison, les muscles plus volumineux produisent plus de force que les plus petits.

#### 5.4.4.2. *Fibres musculaires et longueur du sarcomère :*

Chaque fibre présente une longueur optimale où celle-ci développe une tension maximale. Lors de la contraction du muscle, la force développée varie à chaque moment en fonction du nombre de ponts établis avec le filament d'actine, plus il y a de pont, plus la force établie est importante. Lorsque le muscle est étiré, le chevauchement est moins important et donc il y a moins de ponts susceptibles de générer la force.

#### 5.4.4.3. *Angle de l'articulation :*

La force développée par le muscle est transmise à l'os, via les tendons (insertions musculaires). Ici aussi il y a un angle articulaire optimal, pour lequel la force transmise à l'os est maximale. Cet angle est fonction des positions relative de l'insertion tendineuse et de la charge à déplacer.

#### 5.4.4.4. *Vitesse de contraction :*

Cette vitesse dépend du type de contraction : pour une contraction concentrique, la force maximale développée diminue progressivement au fur et à mesure que la vitesse de contraction augmente. Tandis que pour une contraction excentrique c'est l'inverse : une contraction rapide donne une force plus élevée.

### 5.5. La digestion :

Le but de la digestion est de recevoir les macro-nutriments, incapables de traverser la barrière digestive sous leur forme naturelle, et les micro-nutriments, afin de les transporter à travers tout le tube digestif jusqu'aux intestins pour pouvoir les absorber.

Parmi les nutriments essentiels à la vie, on distingue 6 classes : les lipides, les glucides, les protides, les vitamines, les sels minéraux et l'eau. Le système digestif est divisé en deux grandes parties que sont les organes du tube digestif (bouche, œsophage, estomac, intestin, ...) et les organes annexes (les glandes salivaires, le pancréas, le foie, ...). La régulation a lieu via le système nerveux entérique qui a un fonctionnement qui se fait de façon autonome. Le système digestif possède un rôle de contrôle dans l'équilibre des fluides et des électrolytes.

#### 5.5.1. La régulation de la digestion :

Le système nerveux contrôle les sécrétions, les productions d'enzymes et les activités motrices du tube digestif. Ces 3 activités s'adaptent à ce qui est ingéré : si l'on mange une

soupe les activités sont plus faibles que si l'on mange du foie gras. Ce sont des mécanismes coordonnés par des communications neurocrine, endocrine et/ou paracrine.

## 5.5.2. Les différentes étapes de la digestion

### 5.5.2.1. *La phase buccale*

L'étape mécanique est la première, elle correspond à la mastication, visant le broyage et l'assouplissement de la nourriture pour une pénétration des enzymes salivaires, une humidification des aliments et une libération des saveurs gustatives et odorantes

Suit l'étape chimique, orchestrée par la salive. Le point principal est l'amylase qui débute la digestion en s'attaquant aux aliments. La salive a une composition à 98% en eau, avec une osmolarité proche du plasma, les concentrations en  $K^+$  et  $Na^+$  varient en fonction du débit salivaire. De plus le pH de la salive est plus acide que celui du plasma (le pouvoir tampon est assuré par les bicarbonates). Elle a une forte composante protéique : des protéines plasmatiques et des enzymes salivaires (amylase, lysozyme, lipase linguale, lactoperoxydase, kalicréine), des mucines salivaires (glycoprotéines, mucopolysaccharides acides) et des immunoglobulines sécrétoires (contre les infections).

### 5.5.2.2. *La phase digestive :*

C'est l'étape de stockage du bol alimentaire, où se passe le brassage mécanique des aliments et est le début de la digestion des protéines. L'estomac a un rôle de décontamination. Les aliments retrouvés dans l'estomac sont transformés en chyme. Les substances qui prennent en charges les aliments sont les protéines plasmatiques, les enzymes protéolytiques (pepsine), lipase, mucus, facteur intrinsèque.

Les sécrétions acides sont régulées par le SNA parasympathique et les récepteurs endocrines et paracrines. L'acidité stimule la somatostatine (ralentit la digestion). Si le repas est riche, la cellule pariétale sécrète de l'acidité. Si l'estomac n'est pas assez acide, il y a libération de gastrine afin de sécréter des ions  $H^+$ , diminuant le pH. Le système sympathique réagit à la vue d'un aliment et agit sur la cellule pariétale, qui sécrète la gastrine afin de diminuer le pH. La motricité gastrique est primordiale dans cette phase, chaque partie de l'estomac joue un rôle : le fundus et le corps servent de réservoir pour le bol alimentaire, l'antrum a une activité péristaltique très importante pour mélanger et broyer les aliments, et le pylore contrôle l'arrivée du chyme dans le duodénum et empêche le reflux duodéno-stomacal.

Au début du repas, l'estomac présente une relaxation des fibres musculaires réceptives proximal et un arrêt du péristaltisme distal. Tandis que pendant la digestion, le tonus augmente au niveau proximal et le péristaltisme est caractéristique de la partie distale.

Lorsque l'on est à jeun ou au repos, l'estomac présente une activité cyclique : 40 minutes à 1 heure sans activité motrice, puis une activité composée de 3 phases (une phase à activité erratique, puis le début d'une activité coordonnée pour aboutir à une activité coordonnée qui se propage le long de l'estomac). Quoiqu'il arrive le pylore est constamment ouvert, cependant il est entièrement ouvert uniquement lors de la dernière phase. Pour terminer, la vidange gastrique dépend de plusieurs facteurs : l'acidité (le bol digestif ne doit pas être trop acide), les graisses (vidange gastrique diminuée si présence de trop de graisses), milieu hypertonique, les acides aminés (diminution de la vidange si le repas est trop riche).

### 5.5.3. Le foie et le pancréas :

Ce sont des organes annexes de l'intestin grêle. La fonction digestive de ces glandes consiste en l'élaboration de la bile, afin de solubiliser les graisses dans le duodénum

#### 5.5.3.1. *Le foie :*

Le foie produit la bile, c'est un liquide alcalin vert/jaunâtre. On y retrouve des sels biliaires, pigments biliaires, phospholipides et cholestérol. Seuls les sels biliaires et les lipides servent à la digestion. A partir du cholestérol, on obtient 4 molécules différentes, selon les hydroxylations : Acide cholique, acide chénodésoxycholique, acide désoxycholique, acide lithocholique. On distingue les acides primaires (acide cholique et chénodésoxycholique) synthétisés par le foie, et les acides secondaires (acide désoxycholique et l'acide lithocholique) synthétisés aussi par le foie. Pour qu'un sel biliaire soit sécrété par l'hépatocyte, il doit être conjugué. Ils sont synthétisés à partir du cholestérol dans les hépatocytes, et réabsorbés dans le sang. La synthèse des sels biliaires est inhibée par les sels biliaires. La grande majorité des sels biliaires est réabsorbée au niveau intestinal par l'entérocyte (soit sous forme conjuguée de façon active, ou absorption des formes déconjuguées par diffusion passive).

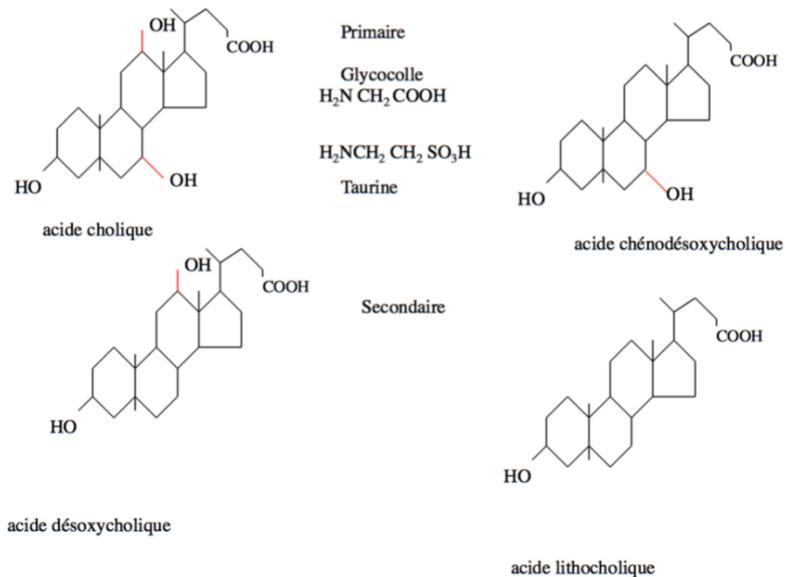


Figure 21 - Les acides biliaires

La production de la bile correspond à la cholérèse. Ce phénomène est continu, il y a toujours une production de bile. Lors des périodes inter-digestives, la bile est stockée dans la vésicule biliaire (à ce moment-là, on a une réabsorption de l'eau afin de concentrer la bile). L'élaboration de la bile est modulée par la présence de chyme dans le duodénum. Lors d'un repas, se produit une contraction de la vésicule biliaire, aboutissant à l'éjection de la bile dans le duodénum. Les phénomènes sont régulés par différentes hormones : on compte la cholécystokinine (CKK) qui agit sur la libération de bile par la vésicule biliaire. La sécrétine, dont la production est stimulée par la présence d'acide gras, permet d'augmenter la cholérèse. A l'inverse, la somatostatine diminue la cholérèse.

#### 5.5.3.2. Le pancréas :

Cette glande a deux fonctions, une endocrine et l'autre exocrine. Il produit le suc pancréatique : une partie minérale (avec la sécrétion de bicarbonate, pour réguler le pH, relativement fluide) et une sécrétion d'enzymes pancréatiques (pour hydrolyser les différents nutriments, très visqueux). L'aspect du suc dépend du débit, pour un faible débit, il est visqueux et épais avec un pH neutre, à l'inverse, pour un fort débit il est fluide aqueux et basique (pH = 9). Plus le débit est fort, plus le pH est élevé.

Le pancréas a une structure avec des cellules canalaire et des cellules acineuses. Il a une composition organique diversifiée, avec des enzymes lipolytiques pour la dégradation des lipides (cholestérol estérase, lipase, phospholipases), des enzymes glycolytiques (amilases),

les enzymes protéolytiques (endopeptidases, exopeptidases), DNase, RNase, ... Les enzymes pancréatiques sont majoritairement synthétisées sous forme de précurseurs inactifs au niveau du pancréas, expulsés via les canaux pancréatiques lorsque le pancréas est stimulé. On les retrouve dans le duodénum, à ce niveau-là l'entérokinase transforme le trypsinogène en trypsine afin de transformer les précurseurs en molécules actives.

La fonction exocrine est donc composée de 2 composantes : une aqueuse (sécrétion de  $\text{HCO}_3^-$ ) et une enzymatique, cette sécrétion est sous la dépendance du SNC et des hormones. Les cellules canalaire fabriquent le carbonate et les acini fabriquent les enzymes. Au niveau hormonal, la sécrétine est active au niveau des cellules canalaire, permettant l'augmentation de la sécrétion de bicarbonate au niveau hépatique, pour neutraliser le chyme dans le duodénum. Au niveau de l'estomac, la sécrétine inhibe l'activité des cellules pariétales : cela permet l'adaptation du pH. Les enzymes pancréatiques sont sous la dépendance de la cholécystokinine, sa synthèse est stimulé par les acides gras libres. Le CKK provoque une stimulation importante de bile et stimule la libération de pepsinogène : ceci afin de réguler le côté « riche » du repas.

Entre les repas, la sécrétion pancréatique est faible. Au cours d'un repas, on distingue 3 phases : la phase céphalique (production d'enzymes pancréatiques lorsque l'on pense à un repas), la phase gastrique (production de CKK, lorsque les aliments sont dans l'estomac), la phase intestinale (régule la production).

#### 5.5.4. L'intestin grêle :

##### 5.5.4.1. *Le fonctionnement :*

C'est le principal organe de digestion, il contient des sécrétions pancréatiques et biliaires. Il est lieu de la préparation des nutriments à l'absorption, au niveau de la lumière digestive (par les enzymes pancréatiques et les sels biliaires), au niveau de l'épithélium (par les enzymes de la bordure en brosses), à l'intérieur des entérocytes (par les enzymes cytosoliques). Le chyme arrive au niveau de l'intestin grêle, se mélange aux sécrétions provenant de la vésicule biliaire et du pancréas. La structure de l'intestin grêle n'est pas homogène, avec une partie centrale pour les molécules de grosses tailles, tandis que seules les particules de petites tailles libérées par le chyme atteignent les entérocytes, au niveau des

bordures en brosses. L'intestin grêle a une surface d'absorption optimum par sa structure, via les plis, les villosités et les microvillosités.

#### 5.5.4.2. Le passage du bol alimentaire dans le tube digestif

L'absorption des différents composés présent dans le tube digestif varie selon la localisation du nutriment, comme l'indique le tableau ci-dessous.

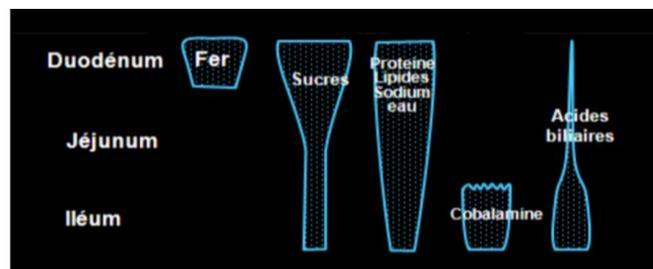


Figure 22 - Les sites intestinaux d'absorption

En période digestive, le transit de l'intestin grêle est lent, les mouvements du tube digestif permettent d'augmenter l'absorption, de lutter contre l'hypertonie du chyme, et d'assurer une neutralisation rapide de l'acidité du chyme. Ces mouvements sont mixtes (pendulaires ou mouvements de segmentations) et des mouvements péristaltiques (pour la propulsion des aliments).

#### 5.5.4.3. La digestion :

##### ➤ La digestion des glucides :

Elle a lieu en intraluminaire. Les glucides sont ingérés sous forme de polysaccharides (que ce soit l'amidon ou le glycogène), de disaccharides ou de monosaccharides. L'amylase salivaire buccale commence la digestion, puis l'amylase pancréatique vient hydrolyser les liaisons  $\alpha$  1-4, entraînant une production de maltose, maltotriose, dextrine et des composés avec des liaisons  $\alpha$  1-6. Lorsque l'on mange du glycogène ou de l'amidon, ils sont dégradés en maltose, que l'on retrouve dans la lumière intestinale. Pour que le maltose passe au travers de la barrière en brosses, intervient la maltase (ou isomaltase) qui vient couper le maltose en 2, ceci en formant du glucose. On retrouve aussi la lactase qui dégrade le lactose en glucose et galactose. Et le saccharose doit passer par la saccharase afin de former du galactose et du glucose. Pour les glucides non digestibles (tel que la cellulose), eux restent dans la lumière intestinale. Leurs volumes gonflent en présence d'eau et facilitent le transit intestinal. Les bactéries viennent user de leur enzymes (cellulase) afin de dégrader ces glucides complexes

et les utiliser, afin de produire des acides gras, ayant un effet stimulant sur l'absorption du sodium et un effet trophique sur la muqueuse colique. Des transporteurs viennent alors prendre en charge les nutriments dégradés par les enzymes :

- Pour les oses, on dénombre le transporteur SGLT1 au niveau de l'entérocyte, qui est un co-transporteur, faisant passer le glucose et le galactose avec du sodium (il met également en jeu une pompe Na/K ATPase). On a aussi un transporteur pour le fructose : le GLUT5, qui fonctionne par transport facilité, cependant le fructose est globalement utilisé par la cellule, donc très peu à transporter. Il existe le transporteur GLUT2 qui exporte les sucres vers la circulation générale. A ce stade, il ne faut pas oublier que le glucose et le galactose entraîne 35 à 40 molécules d'eau avec elles : lors d'une réhydratation, il faut donc donner de l'eau et du glucose.

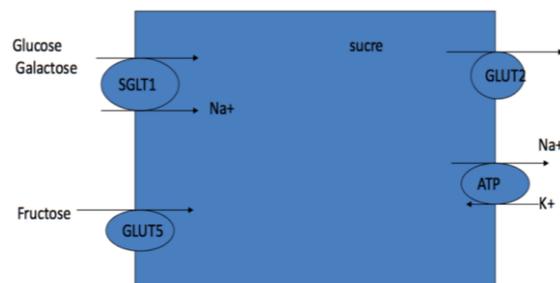


Figure 23 - Les transporteurs des sucres

- Pour les glucides : le duodénum et le jéjunum ont la plus grande capacité d'absorption, les seuls sucres absorbés sont le glucose, le fructose et le galactose, pris en charge par les mêmes transporteurs que les oses.
- ⇒ Pour un régime alimentaire normal, le glucose représente 80% des glucides digérés, tandis que les autres glucides (galactoses, fructoses, ...) sont les 20% restants. Les glucides sont totalement absorbés dans le premier quart de l'intestin grêle.

➤ La digestion des lipides :

C'est un phénomène long, qui dure entre 12 et 24 heures en général, elle prend en charge les triglycérides, les phospholipides, les esters de cholestérol et les substances liposolubles.

Elle débute au niveau buccal, et continue dans l'estomac, via la lipase qui hydrolyse une partie des triglycérides. Les lipides sont hydrolysés via la lipase, colipases, phospholipases

et cholestérol estérase. La véritable digestion des lipides commence dès l'intervention de la lipase pancréatique. Les sels biliaires se mélangent aux graisses et forment des micelles qui s'associent à la lipase (et la colipase pour permettre à la lipase d'atteindre les lipides) par un phénomène d'émulsion du contenu digestif. Les phospholipases dégradent les phospholipides et forme des lisosphospholipides. Les cholestérol estérases dégradent les esters de cholestérol.

Une fois les micelles formées, ils passent la bordure de la barrière en brosse par un phénomène de gradient de concentration (auquel on associe une action de transporteur énergie-dépendant, pour le cholestérol). Il y a une dissociation micellaires grâce au pH relativement acide de l'entérocyte. Les petits acides gras ne sont plus dissociés et passent par simple diffusion, tandis que les plus gros acides gras passent par des protéines de transports (FABP). Ces acides gras migrent vers le réticulum et servent à la synthèse de chylomicrons et de VLDL. Ils sont associés avec du glycérol afin de re-synthétiser des esters de cholestérol, des triglycérides et des phospholipides. Les chylomicrons sont exportés et excrétés vers la lymphe, tandis que les poils chélifères assurent le transport dans la circulation générale. Les acides gras libres sont captés par les muscles et le tissu adipeux (en court-circuitant le premier passage hépatique). L'ester de cholestérol est dégradé puis capté, et sort par la voie de synthèse de l'HDL ou la voie des chylomicrons.

L'absorption des lipides se termine dans l'iléon. On estime qu'en général 95% des lipides sont absorbés chez un individu adulte, les stérols végétal (phytostérols) sont peu absorbés et réduisent l'absorption du cholestérol par un effet de compétitions. Pour résumer, les lipides sont des molécules complexes dégradés en molécule simples au niveau des entérocytes, pour être transportés et reformés au niveau d'un autre compartiment (sanguin ou lymphatique).

#### ➤ La digestion des protéines

Ce sont des composés ayant des enchainements d'acides aminés variables. Ces différences font que les protéines sont généralement prises en charge par des enzymes spécifiques. Ces enzymes sont inactives à l'origine et sont activés grâce à divers facteurs :

- Au niveau de l'estomac, la pepsine est activée par l'acide chlorhydrique (pH de 2 à 3)
- Au niveau de l'intestin, où les sécrétions pancréatiques apportent les endopeptidases (trypsinogène, proélastase, chymotrypsinogène, kallikréinogène, carboxypeptidase) et

des exopeptidases, qui permettent de libérer des acides aminés et des di-, tri- et oligopeptides. Les entérocytes captent alors ces oligopeptides et les dégradent.

Les protéines diffusent au niveau de la barrière en brosse, on a plusieurs solutions pour l'absorption par les entérocytes : soit par transport actif (il existe 3 systèmes couplés au sodium, et deux systèmes associant sodium et chlorure) et la diffusion facilitée (seulement 2 systèmes). Les transporteurs d'acides aminés sont spécifiques et non compétitifs des mécanismes d'absorption des peptides. On estime que 98% des protéines alimentaire sont digérées pour être absorbées sous forme d'acides aminés ou de di/tri-peptides au niveau luminal. Après l'absorption, 98% des protéines sont sous forme d'acides aminés. Les quelques pourcents de protéines non digérées sont pris en charge par la flore digestive et se retrouvent dans les selles.

- Pour les micro-nutriments : Ils sont libérés immédiatement lors de la digestion et sont alors absorbés sans transformations. On en distingue plusieurs :
  - Le sodium : le tube digestif voit entre 25 et 35 grammes de sodium chaque jour, absorbé via des transporteurs couplés au sodium, puis expulsé dans le compartiment sanguin via des pompes Na/K ATPase. Son absorption est ajustée en fonction de l'osmolarité des divers compartiments. L'aldostérone également intervient sur l'absorption, au niveau du côlon, surtout dans les situations de déshydratations.
  - Le chlore, bicarbonates et protons : leur absorption est dépendante du gradient électrochimique, pour compenser les bicarbonates (neutralisant le chyme) on réabsorbe des ions chlorures dans l'intestin grêle.
  - Le potassium : les ions  $K^+$  sont sous l'influence du gradient osmotique et passent par diffusion simple, mais sont également en compétition avec les co-transporteurs Na/K/H.
  - Les minéraux (Calcium, Magnésium, Phosphore, Soufre) : leurs apports viennent de l'eau et de l'alimentation, ils sont absorbés sous forme ionisée. Leur absorption dépend des besoins de l'organisme. Dans certaines situations d'autres substances viennent former des complexes insolubles avec les minéraux, qui sont alors in-absorbables. En cas de présence de phosphates ou d'oxalate, l'absorption de calcium

est limitée (car formation de sels insolubles), tandis que la présence de protéine et l'acidité gastrique favorise l'absorption de ces minéraux.

- Le tube digestif est capable d'absorber jusqu'à 80% du calcium ingéré. Son absorption dépend de la concentration sanguine en ion sodium. La parathormone est produite en cas de baisse de calcium, elle augmente la production de 1-25-di-Hydroxyvitamine D, augmentant l'absorption de calcium au niveau intestinal.

#### 5.5.4.4. *La régulation du mouvement intestinal :*

Réalisé par le système nerveux, avec intervention du système nerveux intrinsèque (met en jeu les réflexes sur la motricité digestive), le système nerveux parasympathique (stimule la motricité digestive) et le système orthosympathique (inhibe la motricité digestive).

Cependant, le système hormonal intervient également, car la présence de glucose au niveau de l'iléal (fin de l'intestin) ralentit la digestion par un phénomène de rétro-contrôle.

### 5.6. Régulation hormonale :

Lors d'un effort physique, l'organisme est mis à rude épreuve, le système nerveux maintient l'homéostasie du corps, mais celui-ci se fait avec la participation du système endocrinien. Ce système est relié aux cellules et surveille à chaque instant la situation et toutes les variations que le milieu intérieur peut proposer, ceci afin de réagir le plus vite possible en cas de perturbation. Le système endocrinien assure l'équilibre physiologique du corps. Ce système travaille conjointement avec le système nerveux et se complètent. Dans notre cas, les réponses sont plus lentes que le système nerveux, mais sont plus longues et touchent un territoire plus large.

Le système endocrinien est composé d'un ensemble de glandes et de tissus qui sécrètent des hormones directement dans le sang, agissant tel que des signaux chimiques. Ces hormones sont transportées par des transporteurs, présent dans le sang, jusqu'à l'organe cible, et ainsi avoir un effet à distance de leur lieu de production dans le corps humain : cette action a lieu soit sur un ensemble de tissus cibles ou seulement sur un organe.

### 5.6.1. Les différentes classes hormonales :

On distingue 2 grandes catégories d'hormones :

- Les hormones stéroïdes, dérivés du cholestérol, avec un caractère liposoluble et facilement diffusable à travers les membranes cellulaires. On retrouve les hormones produites par le cortex surrénalien et les gonades (ovaire/placenta et testicules).
- Les hormones non stéroïdes possèdent un caractère faiblement liposoluble et présentent ainsi des difficultés à franchir les barrières. C'est la structure chimique de l'hormone qui détermine son mode d'action et son tissu cible. Les hormones les plus répandues dans l'organisme sont les hormones peptidiques, que l'on peut classer en 2 familles principales : les hormones thyroïdiennes (structure volumineuse) et les catécholamines (petites structures) telles que les hormones hypothalamiques, anté-hypophysaire, post-hypophysaire, pancréatiques, rénales, digestives, cardiaque, adipocytaire, ...

### 5.6.2. La sécrétion hormonale :

La sécrétion d'hormone se fait sur un modèle « pulsatile », à l'origine de fluctuation dans les concentrations plasmatiques, de durée plus ou moins variable (en général 1h ou moins). La sécrétion est régulée selon un système de Feed-back négatif (la sécrétion d'une hormone a un impact sur l'organisme, une fois l'objectif atteint, l'organisme envoie un nouveau signal afin d'inhiber lui-même la production), pour donner un exemple : afin de maintenir une glycémie correcte, lorsque le glucose plasmatique est trop élevé, le pancréas produit de l'insuline jusqu'à retrouver une glycémie équilibrée.

Un autre moyen de régulation sera la « Down-régulation », c'est-à-dire qu'il y aura une désensibilisation : le nombre de récepteur intervient pour augmenter/diminuer la sensibilité des cellules à une hormone, lorsque la concentration d'une hormone diminue le nombre de récepteur, les cellules sont moins sensibles à l'effet de l'hormone et elle se fixe moins aux récepteurs. Par exemple, on observe une résistance à l'insuline dans certaines populations de patients obèses, où on voit alors un nombre de récepteurs sensible à l'insuline diminué, en contrepartie, le pancréas produit plus d'insuline. Il existe également le « up-regulation » qui est un mécanisme opposé à celui vu précédemment. Lors d'une libération hormonale

prolongée, le corps répond par une production accrue de récepteurs et sera ainsi plus sensible aux hormones.

### 5.6.3. Effets des différentes hormones :

Les transporteurs amènent les hormones jusqu'au tissus, et pour savoir là où chaque hormone agit, elles ont des récepteurs spécifiques, afin d'exprimer leur activité, cela après la formation du complexe hormone-récepteur. On retrouve entre 2 000 et 10 000 récepteurs réparti sur l'ensemble de la cellule ou à l'intérieur même de celle-ci. Les récepteurs des hormones non stéroïdes sont situés sur la membrane plasmique alors que les récepteurs aux hormones stéroïdes sont retrouvés en intra-cellulaire. Les hormones sont généralement spécifiques d'un type de récepteur, afin d'agir uniquement sur les tissus présentant les récepteurs spécifiques. Une fois le complexe formé, l'auto-régulation se met en place pour exprimer la fonction endocrine comme il se doit. Il est également à noter qu'un tissu producteur d'une hormone peut également être un tissu cible de l'hormone produite.

#### 5.6.3.1. *Les hormones stéroïdes :*

Ces hormones sont liposolubles, elles traversent facilement les membranes cellulaires. Une fois en intra-cellulaire, l'hormone se fixe à son récepteur et migre vers le noyau, cherche à atteindre l'ADN et active certains gènes. Ce mécanisme conduit à la production d'ARNm qui pénètre dans le cytoplasme et enclenche la synthèse protéique.

Parmi les protéines produites, on retrouve des enzymes (ayant un rôle dans différent processus cellulaire), des protéines de structures (participant à la croissance et la réparation tissulaire), ou encore des protéines régulatrices (pouvant modifier la fonction enzymatique). Parmi les hormones, on trouve les minéralocorticoïdes (aldostérone), les glucocorticoïdes (cortisol) et les gonadocorticoïdes (androstenedione)

#### 5.6.3.2. *Les hormones non stéroïdes :*

Leur caractère faiblement lipophile les contraint à devoir se lier à des récepteurs spécifiques sur la face externe de la membrane cellulaire. Dès lors que le complexe hormone-récepteur est formé, un ensemble de réactions enzymatiques aboutit à un second messager intracellulaire qui a pour but de produire des modifications du fonctionnement intracellulaire.

Dans le cadre de l'AMPC, la formation du complexe conduit à l'activation de l'adénylate cyclase, une enzyme à l'intérieur de la membrane cellulaire, qui permet ainsi la production

d'AMPc à partir d'ATP. L'AMPc, permet d'aboutir à des réponses physiologiques : activation d'enzymes cellulaires, modification de la perméabilité membranaire, l'activation de la synthèse protéique, des modifications du métabolisme cellulaire ou encore une stimulation des sécrétions cellulaires. On compte, parmi les hormones dépendant de l'AMPc, l'adrénaline, le glucagon ou encore l'hormone lutéinisante. On compte également d'autres seconds messagers comme le GMPc, l'IP3, le DAG ou le Calcium.

#### 5.6.3.3. Un cas particulier : les prostaglandines :

D'après la définition d'une hormone, les prostaglandines ne sont pas des hormones, alors qu'elles sont souvent considérées en tant que tel. Elles dérivent d'un acide gras (l'acide arachidonique) et sont présentes dans presque toutes les cellules, au niveau de la membrane cellulaire. Elles sont catégorisées en tant qu'hormones à action autocrine, car elles agissent localement, on retrouve malgré tout des prostaglandines ayant une durée de vie suffisamment longue pour diffuser dans l'intégralité du corps via le flux sanguin.

Leur libération est déclenchée par divers types de stimuli. Ce sont d'importants médiateurs de la réponse inflammatoire, on en retrouve par exemple via une action directe sur les parois vasculaires afin d'augmenter la perméabilité des parois ou encore en favorisant la vasodilatation des vaisseaux sanguins. Elles interviennent également au niveau nerveux, dans la transmission des messages douloureux.

#### 5.6.4. Les glandes endocrines et leurs hormones :

Les glandes endocrines possèdent deux missions principales : la régulation du métabolisme énergétique et les fluides et électrolytes. Ce système joue ainsi un grand rôle dans la régulation de l'appétit et de l'apport calorique.

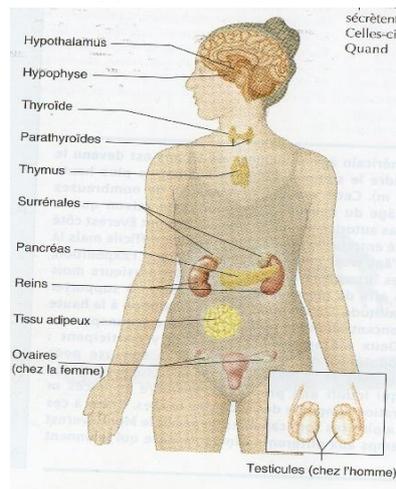


Figure 24 - Le système endocrinien

#### 5.6.4.1. La régulation métabolique

##### ➤ L'hypophyse (glande pituitaire) :

Glande retrouvée à la base du cerveau, elle sécrète une multitude d'hormones, assurant une fonction régulatrice pour d'autres hormones. Sa régulation est très complexe, avec une action centrale et périphérique : l'hypophyse est un relais entre les centres de contrôle du système nerveux et les glandes endocrines périphériques.

Cette glande est constituée de plusieurs lobes, avec le lobe antérieur (ou antéhypophyse), capable de sécréter 6 hormones différentes (*présentées dans le tableau en annexe*), pour répondre aux sécrétions de l'hypothalamus. Ces hormones sécrétées sont des hormones régulatrices : releasing-factors ou inhibiting-factors (effet stimulateur ou inhibiteur). Ces hormones sont transportées via un système circulatoire spécifique. Les 6 hormones hypothalamique représentent un stimulus très puissant, et conduit à une augmentation des taux de libération de toutes les hormones anté-hypophysaires.

Mis à part la GH et la prolactine, les autres hormones sécrétées contrôle l'activité des glandes endocrine. La GH ou hormone de croissance a un fort effet anabolisant, elle a pour but de stimuler la croissance musculaire et tissulaire, favorisant l'hypertrophie du muscle, tout en facilitant le transport des acides aminés dans les cellules : elle permet le développement du muscle. De plus l'hormone de croissance agit sur le métabolisme des graisses, ceci en stimulant la synthèse des enzymes impliqués dans la lipolyse. Lors d'un exercice aérobie, les taux de GH augmentent de manière proportionnelle à l'intensité (plusieurs minutes peuvent parfois être nécessaire pour revenir à des valeurs normales de repos).

##### ➤ La glande thyroïde :

Cette glande est localisée juste en dessous du larynx. Elle produit la triiodothyronine et la thyroxine, ce sont des hormones thyroïdiennes, Elle sécrète également la calcitonine (agissant sur le métabolisme calcique). Les deux premières hormones citées ont le même effet métabolique sur l'organisme, et agissent sur quasiment tous les tissus, augmentant de 60 à 100% le métabolisme de base. Elles stimulent la synthèse protéique (donc enzymatique), accroissent le nombre et la taille des mitochondries, accélèrent l'entrée de glucose dans la cellule, favorisent la glycolyse et la gluconéogenèse et stimulent la mobilisation des lipides en facilitant la disponibilité des acides gras pour l'oxydation.

La pratique de l'exercice augmente la sécrétion de la thyroïdostimuline via l'anté-hypophyse. On s'attend alors à une élévation de T3 et T4 après un l'exercice, cependant il y a un délai entre l'élévation plasmatique des taux de TSH et de thyroxine. De plus, lors d'un exercice prolongé, la thyroxine reste relativement stable, tandis que la T3 tend à diminuer.

➤ Les glandes surrénales :

Situés à la face supérieure des reins, ces glandes sont constituées de 2 parties distinctes : la médulla surrénaliennne et le cortex surrénalien.

La médulla sécrète les catécholamines (Adrénaline et Noradrénaline). Lors d'une stimulation nerveuse, elle sécrète 80% d'Adrénaline et 20% de NorAdrénaline, ce ratio est susceptible d'être modifié selon les conditions physiologiques. Ces hormones sont très puissantes, avec un effet prolongé (dû à leur élimination lente du sang). Elles interviennent dans la réaction immédiate lors d'une situation d'urgence. Elles conduisent à des effets différents et agissent ensemble, afin d'accroître la force de contraction cardiaque, une élévation de l'activité métabolique, de la glycogénolyse hépatique et musculaire, une libération de glucose et d'acide gras libre plus importante ainsi, une redistribution vasculaire du sang vers les muscles actifs (par des vasodilatations musculaires et vasoconstriction cutané), entraînant une montée de la pression artérielle et donc de la respiration par la même occasion. La libération de ces hormones surrénaliennes dépend de divers facteurs, tels que la posture, le stress psychologique, l'activité physique, .... Dès lors que l'intensité d'exercice dépasse 50% de la VO<sub>2</sub>max, la noradrénaline plasmatique augmente. Quant à l'adrénaline, il faut atteindre une intensité d'exercice comprise entre 60 et 70% de VO<sub>2</sub>max. Lors d'une phase de repos suivant un exercice, les taux d'adrénaline reviennent à la normale rapidement (en quelques minutes), tandis que pour la noradrénaline, quelques heures sont nécessaires.

Le cortex surrénalien sécrète plus d'une trentaine d'hormone stéroïdes (= les corticostéroïdes). Les glucocorticoïdes en font partis, ce sont des hormones indispensables à la vie pour réagir au milieu extérieur et à toute source de stress (telle que l'activité physique) ainsi que d'assurer une glycémie constante. L'hydrocortisone (ou cortisol) est l'hormone majeure, à l'origine de plus de 90% de l'activité des glucocorticoïdes. Le cortisol est capable de stimuler la néoglucogénèse, agit sur la mise à disposition des acides gras libres, il permet une épargne du glucose et une libération d'acides aminés (pour le catabolisme protéique).

C'est une hormone exerçant une activité inflammatoire, également capable d'une réduction des défenses immunitaires, et peut être à l'origine de phénomènes de vasoconstriction.

➤ Le pancréas :

Situé dans l'abdomen, il produit quasi-exclusivement l'insuline et le glucagon, deux hormones essentielles à la régulation glycémique :

- L'insuline, sécrété lors d'une hausse de glycémie, et facilite le transport du glucose vers les cellules, stimule la glycogénogenèse et inhibe la gluconéogenèse. Outre son effet sur la glycémie, l'insuline intervient sur le métabolisme protéique et lipidique (sur la pénétration cellulaire des acides aminés et la synthèse protéique et lipidique).
- Le glucagon, agit lors d'hypoglycémie, et stimule la dégradation du glycogène en glucose, et la gluconéogenèse, afin d'augmenter la glycémie plasmatique.

Le taux d'insuline diminue lors d'un effort prolongé, malgré le niveau constant glycémique : le nombre de récepteurs à l'insuline augmente lors d'un effort physique, de même pour la sensibilité à l'insuline, cela n'oblige pas l'organisme à avoir un taux élevé d'insuline pour assurer le transport de glucose vers les muscles. Le glucagon augmente progressivement au cours de l'effort physique, ceci permet alors de maintenir la concentration du glucose plasmatique. Ces phénomènes permettent d'avoir une quantité de glucose utilisable dans le sang, afin de palier à la demande métabolique. On remarque que ce phénomène est atténué chez des personnes qui s'entraînent régulièrement.

#### 5.6.5. Métabolisme du glucose lors de l'exercice :

Lors d'un exercice, la glycogénolyse est stimulée au niveau hépatique, conduisant à une libération de glucose, transporté par le sang vers les muscles et organes. La concentration en glucose remonte à l'aide de la gluconéogenèse, qui elle consomme du lactate, du glycérol et des acides aminés. Selon l'effort musculaire fourni, la consommation en glucose varie. Il existe 4 hormones capables d'augmenter le glucose plasmatique : l'adrénaline et noradrénaline, le cortisol et le glucagon. La libération de glucose par le foie change selon l'intensité de l'effort et sa durée.

Lors d'un effort physique, on observe une sécrétion plus importante de glucagon et de catécholamines, stimulant la glycogénolyse. De plus, la concentration en cortisol augmente

dans la première demi-heure d'effort, augmentant le catabolisme protéique et la libération d'acides aminés, consommés par le foie pour la gluconéogenèse. En parallèle, l'hormone de croissance réduit l'entrée de glucose dans la cellule et augmente la mobilisation des acides gras libres. Tandis que les hormones thyroïdiennes accroissent le catabolisme du glucose et des graisses.

Plus un effort important est produit, d'avantage l'organisme libère de catécholamines, afin de que le foie libère davantage de glucose que ce que les muscles peuvent accueillir. Cependant, lors d'un exercice bref, le muscle utilise ses propres réserves en glycogène, faisant en sorte que le glucose plasmatique ne soit pas utilisé et entraînant alors une élévation de la glycémie. Glycémie qui diminue après l'effort, car les muscles régénèrent leurs réserves via le glucose plasmatique. En revanche, pour un exercice prolongé (plusieurs heures), l'organisme s'autorégule, pour cela le foie libère moins de glucose : la glycémie est normale (le foie propose une quantité de glucose en fonction des besoins des muscles). Etant donné qu'au bout d'un moment le muscle a besoin de glucose car ses réserves sont épuisées, le foie augmente sa libération de glucose et les muscles se servent dans le compartiment sanguin. Les stocks hépatiques consommés, la glycémie diminue progressivement. La réponse métabolique voit une augmentation des taux en glucagon, agissant en association avec le cortisol pour stimuler la gluconéogenèse afin d'accroître les réserves énergétiques. Il faut être prudent pour ne pas arriver à un seuil de délivrance du glucose par le foie inférieur aux besoins des muscles, cela rappelle l'importance de la collation lors d'efforts prolongés, afin d'amener un surplus de glucose, pour maintenir une concentration plasmatique suffisante.

Il ne faut pas oublier, qu'une fois que le glucose est dans le sang, il faut que les cellules musculaires le captent, pour cela, l'insuline entre en jeu et facilite la pénétration du glucose plasmatique dans les cellules. Cependant, on observe que le taux d'insuline diminue au cours d'un exercice prolongé. Cela s'explique du fait que les cellules musculaires ont une sensibilité à l'insuline plus forte au cours de l'effort et en nécessite donc moins.

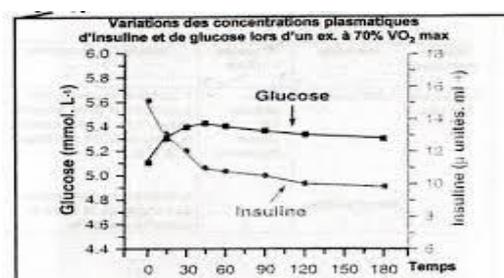


Figure 25 - Variation du glucose et de l'insuline plasmatique

Ceci est un détail important : l'insuline inhibe la libération de glucose hépatique, et donc maintenir un taux plus faible d'insuline conduit alors au renforcement de l'activité des autres hormones impliquées dans la mobilisation du glucose hépatique.

#### 5.6.6. Métabolisme des lipides à l'exercice :

Les triglycérides sont dégradés par la lipase en Acide Gras Libre (AGL) et glycérol. Ces AGL sont la source principale en énergie en situation de repos et d'exercice. L'oxydation des acides gras reste un élément essentiel de la régulation énergétique lors d'un effort d'endurance. Ces acides gras apportent les hydrates de carbones (très rapidement manquants lors de l'effort) et lorsque les réserves en sucres sont insuffisantes, le système endocrinien augmente le phénomène d'oxydation des graisses (= la lipolyse) pour pallier ce souci.

Les triglycérides sont stockés dans les tissus adipeux et musculaire. Lors de la lipolyse, les AGL nouvellement formés, sont transportés via le compartiment sanguin jusqu'aux muscles, afin d'y être oxydé. Si la concentration plasmatique en AGL est élevée, cela indique que la concentration dans le milieu cellulaire est tout aussi élevée, et que la vitesse d'oxydation est également importante : la vitesse de dégradation des triglycérides détermine la vitesse d'oxydation des AGL et donc la formation d'énergie. La lipase dégrade les triglycérides, elle est régulée par plusieurs hormones, comme l'insuline, l'adrénaline, la noradrénaline, le cortisol et l'hormone de croissance.

#### 5.6.7. Equilibre hydroélectrolytique et régulation hormonale :

##### 5.6.7.1. *L'équilibre hydroélectrolytique*

L'équilibre hydroélectrolytique est un équilibre dynamique, alternant entrées et sorties. Ces échanges sont régulés et visent à maintenir les diverses fonctions physiologiques de l'organisme (tel que la fonction cardiovasculaire). Une perte d'eau n'a pas forcément lieu vers l'extérieur de l'organisme, mais peut se faire vers un autre compartiment, phénomène observé lors de l'effort, où l'eau va du compartiment sanguin, vers les tissus interstitiels.

Pour un individu normal, l'organisme a besoin de 2,6 à 3L d'eau d'apport général par jour, les entrées sont régulées par le centre de la soif, médié par la vasopressine qui favorise l'expression d'aquaporine dans le tube digestif et donc l'entrée d'eau. Tandis que les pertes hydriques se font via les voies urinaires, évapotranspiration (via la respiration) ou transpiration. Il faut toujours garder à l'esprit que les entrées et sorties d'eau doivent se compenser.

Lors de l'effort, les volumes mobilisés d'eau sont dépendant de la masse musculaire en activité et de l'intensité de l'effort physique enclenché. Les produits métaboliques s'accumulent autour du muscle afin de créer un appel d'eau. On observe une extravasation et un transfert d'eau depuis le compartiment sanguin. Ce phénomène conduit à une réduction du volume plasmatique (de l'ordre de 5 à 10% pour une activité à 75% de la VO<sub>2</sub>max : le résultat se traduit par une chute de la pression artérielle ainsi qu'une irrigation des muscles moindres, impactant directement la performance physique).

#### 5.6.7.2. *La fonction endocrine :*

La régulation hydroélectrolytique est orchestrée par le système endocrinien principalement via le sodium. Le rein joue un rôle majeur en tant qu'organe cible, du lobe postérieur de l'hypophyse et des glandes surrénales, mais aussi en ayant une fonction endocrine lui-même.

L'hypothalamus sécrète la vasopressine (ou hormone antidiurétique/ADH) et l'ocytocine. Lors d'un effort physique, l'ADH augmente la perméabilité du tube collecteur rénal et permet la captation maximale de l'eau. Cette hormone a pour mission d'éviter une déshydratation lors d'un effort d'intensité très élevé, en agissant au niveau rénal.

Les minéralocorticoïdes agissent au niveau de la pompe sodium et potassium. L'aldostérone (chef de file des minéralocorticoïdes) facilite la réabsorption du sodium, entraînant avec lui l'eau et assurant la réabsorption de l'eau. Une rétention sodique est associée à une excrétion de potassium plus importante : l'aldostérone agit sur l'équilibre sodium/potassium. La production d'aldostérone est stimulée de plusieurs façons : diminution du sodium plasmatique, diminution du volume sanguin, chute de la pression artérielle et/ou augmentation des taux plasmatiques en potassium.

Les reins assurent une régulation de l'équilibre hydroélectrolytique et de la pression artérielle. En cas de diminution du volume sanguin, se déclare une chute de la pression artérielle. Lors de l'effort, en cas d'apport hydrique insuffisant, une situation de déshydratation se met en place progressivement, se traduisant par une diminution du volume sanguin. Pour répondre à cela, le système rénine-angiotensine s'active et les reins produisent de la rénine. La rénine agit sur l'angiotensinogène (d'origine hépatique) afin de le transformer en angiotensine 1 (au niveau circulatoire), ensuite l'enzyme de conversion vient transformer

l'angiotensine 1 en angiotensine 2 (au niveau des poumons). Cette angiotensine exerce une stimulation sur les corticosurrénales, pour libérer l'aldostérone afin de produire une vasoconstriction pour obtenir une élévation de la PA. L'aldostérone stimule également la réabsorption de sodium et donc d'eau au niveau des tubules rénaux, il y a diminution de la diurèse.

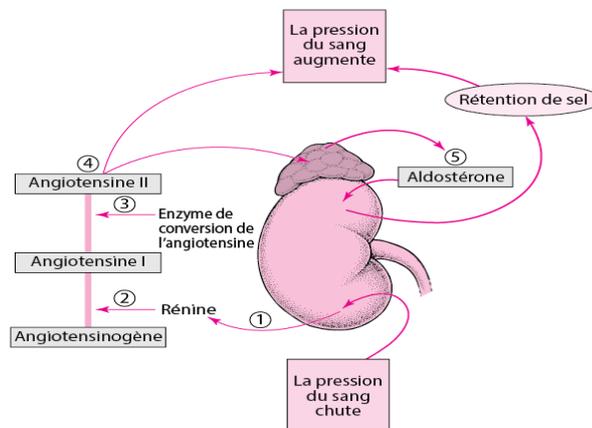


Figure 26 - Le système rénine/angiotensine

Les reins ont également un effet sur le transport de l'oxygène, par leur capacité à sécréter l'érythropoïétine (EPO). Cette hormone régule la production et la différenciation des cellules de la lignée rouge. Pour rappel, les globules rouges assurent un transport de l'O<sub>2</sub> vers les muscles et une élimination du CO<sub>2</sub>. Cette production d'EPO s'adapte à l'entraînement (et également à l'altitude). Les athlètes de haut niveau, ayant un entraînement intense, ont un volume plasmatique supérieur traduisant une dilution des composés du sang dans un plus grand volume plasmatique : c'est l'hémodilution. La prudence est de mise, car ce phénomène peut agir sur l'hémoglobine et simuler une anémie, quelques jours de repos suffisent pour les corriger et revoir des taux d'aldostérone normaux.

#### 5.6.8. Régulation des apports alimentaires :

La régulation de l'apport calorique met en jeu une signalisation hormonal provenant à la fois du système gastro-intestinal et également des cellules adipeuses. Le centre de la satiété est localisé dans un noyau ventromédian du cerveau, tandis que le centre de la faim est basé sur une face latérale de l'hypothalamus. L'hypothalamus reçoit les signaux provenant des différents récepteurs (système digestif et des cellules adipeuses), renseignant l'état actuel via des hormones anorexigène (supprime l'appétit) ou orexigène (stimule l'appétit).

#### 5.6.8.1. *Le système digestif :*

La régulation de l'appétit est sous l'influence de la concentration plasmatique des nutriments (glucides, acides aminés, lipides, ...) et de la dilatation du tube digestif (présence/arrivée ou non d'un bol alimentaire). Lorsque l'estomac est rempli, il y a production de cholecystokinine (CCK) renseignant le centre de la faim de la présence d'un bol alimentaire, afin de couper la sensation de faim. Pendant et après le repas, l'intestin sécrète la GLP-1 et le peptide PYY, qui ont l'effet de supprimer la faim. L'insuline produit par le pancréas aussi est génératrice de satiété. D'un autre côté, il y a des hormones stimulatrices de la faim, tel que la ghréline. Dont la concentration diminue après manger.

#### 5.6.8.2. *Le tissu adipeux :*

Il existe aussi des hormones agissant sur les sensations de faim ou de satiété, leur concentration est dépendante de la quantité en adipocyte, et agissent alors sur la prise alimentaire mais à long terme. La leptine agit sur l'hypothalamus pour réduire l'appétit, sa concentration varie selon la masse grasse, c'est un indicateur de la balance énergétique. Chez les sujets obèses, il arrive de développer un état physiopathologique de résistance à la leptine, mais aussi à la ghréline : à l'origine d'une hyperphagie et donc de la prise de poids. La prise en charge des sujets obèses est à adapter en ayant cette donnée en tête pour juger de l'efficacité de l'activité physique sur la régulation hormonale de la faim et de la satiété.

#### 5.6.8.3. *Impact de l'activité physique sur les hormones de la faim :*

Un exercice court à moyenne intensité diminue la production de ghréline et augmente la production de GLP-1 et PYY, ceci au moment d'un exercice aérobic, l'effet ressenti est un coupe-faim pendant un petit laps de temps. On remarque que lors d'un entraînement physique, la concentration en PYY est augmenté. De plus la ghréline varie selon la perte ou non de masse grasse : en cas de perte de masse grasse la ghréline augmente, traduisant une prise alimentaire plus importante dû à une sensation de faim accru.

Le suivi de ces hormones est intéressant, notamment chez les sportifs de haut niveau à très haut niveau pour suivre leur balance énergétique afin de déceler un déficit énergétique.

## 6. Le sportif :

Comme vu précédemment, l'alimentation est un des éléments clef de la performance sportive, en plus d'un entraînement adapté. La prise en charge nutritionnelle est à adapter pour chaque individu, en fonction de ses caractéristiques ainsi que de l'activité physique pratiquée. Pour que cette prise en charge nutritionnelle soit pleinement efficace, il est nécessaire « d'éduquer » le sportif sur les effets positifs d'une bonne alimentation, mais également sur les limites de l'utilisation de certains produits, afin d'éviter une dérive vers les substances dopantes.

Afin d'adapter nos conseils nutritionnels, il est important de déterminer le profil du patient que nous avons en face. Quels sont ses besoins, selon plusieurs points :

- En fonction de l'intensité de sa pratique sportive (dans un but de performance ? sport en tant que loisir ? par habitude ? « Objectif plage » ? ...)
- En fonction de la pratique sportive (course à pied ? musculation ? sports collectifs ? Marathon/sprint ?)
- En fonction de ses objectifs (performance ? prise de muscle ? perte de poids ?)
- De son mode de vie (profession ? sport le matin ? ou le soir ?)

Tout exercice physique nécessite de combler les réserves consommées lors de l'effort, cependant le degré de réserves dépensés, et donc à combler, est variable.

Activité	Dépense énergétique (en kcal/h)
Position couchée	70
Position debout	110
Marche à 4km/h	180
Tennis	400
Bicyclette à 20 km/h	550
Course à pied 10 km/h	750
Course à pied 17 km/h	1 300
Nage 1,5 km/h	450
Nage 2,5 km/h	1 100

Figure 27 - Les dépenses énergétiques attribués à chaque activité

## 6.1. Endurance et résistance :

Face aux différences de caractéristiques de tous les patients, la valeur de référence représentant la même capacité chez tous les patients est la Puissance Maximale Aérobie (PMA). La PMA est la plus petite puissance qui permet d'obtenir la  $VO_2$  max (consommation maximale d'oxygène = capacité maximale de transport de l'oxygène par le sang et d'extraction de l'oxygène par le muscle). On distingue les exercices sous-maximal (inférieur à la PMA) et sus-maximal (au-delà de la PMA), qui fournissent des valeurs primordiales pour définir l'endurance et la résistance :

- La résistance est la capacité à prolonger un exercice sus-maximal ( $> PMA$ )
- L'endurance est la capacité à prolonger un exercice sous-maximal ( $< PMA$ )

Chez quelqu'un de sédentaire, en cas d'un effort physique nécessitant une puissance inférieure à 50% de la PMA, les phosphorylations oxydatives sont suffisantes pour couvrir les besoins en ATP (mis à part au début de l'exercice). Puisque les réserves en graisses de l'organisme sont suffisantes et que la consommation de glucose est inférieure à sa production de glucose par le métabolisme, l'exercice n'est pas limité dans la durée.

En revanche, lorsque la puissance de l'exercice est comprise entre 50 et 100% de la valeur de PMA, la régénération de l'ATP par le métabolisme aérobie n'est pas suffisamment rapide face aux besoins, d'autant plus que les besoins sont croissants du fait que l'intensité d'exercice augmente et se rapproche de la valeur de la PMA. Se met en place le métabolisme anaérobie (utilisation du glucose plasmatique et musculaire). Cette voie est intéressante pour sa vitesse de production de l'ATP, sans utilisation d' $O_2$ . Cette voie métabolique est limitée par la pénétration du glucose plasmatique dans les cellules plasmatiques et limite donc à l'usage des réserves de glucoses stockés dans les cellules musculaires : la durée de l'exercice dans ces conditions dépend des stocks. On distingue l'endurance aérobie et anaérobie, séparé par la zone de transition aérobie-anaérobie.

- ⇒ Le seuil est estimé à 50% de la PMA chez la personne sédentaire. Ce seuil peut être déplacé chez une personne entraînée, on atteint 80% et plus de la PMA en tant que seuil aérobie-anaérobie.

⇒ Une personne est endurante, si elle possède un  $VO_2\text{max}$  important et que le seuil est proche de la  $VO_2\text{max}$

## 6.2. Le rapport énergie/calories :

La moindre action qui a lieu dans notre corps nécessite de l'énergie, même une infime partie. Cette utilisation d'énergie débouche sur une production de déchets, qui a lieu principalement par un dégagement de chaleur (environ  $\frac{3}{4}$  de l'énergie dépensée), mais on retrouve aussi l'eau, du gaz carbonique, de l'urée et autres déchets.

L'énergie utilisée par le corps provient des constituants musculaires et tissulaires de l'individu et de sa ration alimentaire. Cette ration renvoie vers le terme de « calorie », une valeur qui permet d'avoir un renseignement sur le contenu énergétique de ce que nous absorbons. Le terme calorie n'a normalement pas sa place dans le monde de la nutrition étant donné qu'il définit « la quantité de chaleur nécessaire à élever la température d'un gramme d'eau de 14,5 à 15,5° C sous la pression atmosphérique normale ». Cet abus de langage n'est cependant pas un hasard, un homme dégage l'énergie utilisée sous forme de chaleur de l'ordre d'environ 75-80%, cela veut donc dire qu'un sportif qui consomme 500 calories lors d'un effort élimine 400 calories sous forme de chaleur et donc seulement 100 calories sont utilisées pour le fonctionnement musculaire. En plus de cela, des tests ont permis de déterminer combien les constituants de l'alimentation (glucides, lipides, protides, alcools) dégagent de calories, renseignant alors sur les aliments dits « caloriques ».

Lorsque l'on attribue une valeur calorique à un plat, par exemple 900 calories pour un repas, on stipule que ces 900 calories font l'objet d'une utilisation intégrale, dans ce cas la notion de stockage et de mise en réserve n'existe pas. Cependant toutes cette « énergie » n'est pas intégralement brûlée après l'ingestion et une partie est mise en réserve pour plus tard, chose très importante pour les athlètes qui font un stock de glucides la veille d'une épreuve, afin d'avoir un stock énergétique pour cette dernière : la notion de « besoin calorique » est beaucoup moins importante, on délaisse la quantité de calories nécessaire car celle-ci est approximative, pour s'intéresser à la qualité des nutriments assimilés.

Cette qualité de nutriments est très importante, l'athlète doit savoir ce qu'il absorbe afin d'adapter ses apports au mieux en fonction de sa séance, sa durée, son intensité et de ses objectifs. Le niveau du sportif entre également en jeu, un sportif chevronné assimile mieux

certaines constituants qu'un sportif débutant, le sportif chevronné optimise les filières énergétiques : il stocke moins de graisses et régénère mieux les réserves de glucides. Ce phénomène est l'adaptation, ce sont les modifications physiologiques du sportif (au niveau cardio-vasculaire, métabolique, etc ...). Cela permet au sportif d'être moins pénalisé pour un « écart » alimentaire car son métabolisme privilégie les tissus musculaires avant les tissus adipeux, c'est l'inverse chez le sédentaire : on oriente vers une nutrition personnalisée.

La quantité énergétique peut être également exprimée en joule, cependant le terme « calorie » est plus commun et plus compréhensif pour le grand public. Pour information, 4,18 joules équivalent à 1 calorie.

### 6.3. Comparatif de dépenses énergétiques : sédentaire vs sportif :

#### 6.3.1. Chez le sédentaire :

Il existe d'autres processus de dépense énergétique, autre que l'activité physique, on retrouve la respiration, la digestion, l'élimination de déchets par les reins, etc ... : on parle de dépense énergétique de repos. Il est facile d'estimer la dépense énergétique d'un sédentaire. La thermorégulation fait partie de la dépense énergétique de repos, c'est l'ensemble des réactions entraînant une élévation de la température corporelle (généralement occasionnée lors d'une exposition au froid).

Cette dépense de repos est estimable en se basant sur la masse maigre de l'individu, qui est le lieu de diverses réactions métaboliques. A poids égal, une personne « maigre » dépense moins de calories. On prend le poids P et la taille T pour avoir la surface corporelle S, pour obtenir une formule donnant la dépense énergétique théorique de repos, à 10% près.

$$S = P^{0,425} \times T^{0,725} \times 0,202$$

En partant de celle-ci, on calcule le métabolisme de repos théorique (MRT), on estime alors que la dépense énergétique se situe entre 35 et 40 cal/h.m<sup>2</sup> :

$$MRT = 24 \times (35 \text{ à } 40) \times S$$

Cette formule donne une fourchette de la consommation énergétique de repos d'un individu sédentaire, cette imprécision résulte de plusieurs facteurs :

- L'adiposité : pour un individu ayant une masse grasse plus importante, la formule surestime sa consommation car sa masse maigre est en réalité plus faible.
- Le stress : car il se traduit par une libération de diverses molécules physiologiques altérant les mécanismes métaboliques (adrénaline, noradrénaline, etc ...).
- Les caractères héréditaires.
- L'action de certaines substances tel que la nicotine (réduisant le métabolisme de repos), la caféine ou la théine (augmentant le métabolisme de repos).
- Les éventuels régimes antérieurs (réussi ou non, la répétition a tendance à accroître le phénomène de yoyo, seul 10% des personnes ayant suivi un régime réussissent à terme à avoir un poids inférieur au début).
- La chronologie et le nombre de repas dans la journée, une négligence du petit déjeuner peut être liée à l'origine d'une prise de poids facilitée, de même pour les repas copieux le soir : c'est la chronobiologie du stockage. La prise quotidienne d'un petit déjeuner complet permet d'étaler la prise alimentaire sur la journée et permet de limiter la consommation impulsive d'aliments (collation de 17 heures).
- Le volume d'entraînement, une pratique quotidienne importante d'une activité physique entraîne une adaptation du métabolisme de repos, l'organisme cherche à réserver les stocks d'énergie pour les séances d'entraînement.

Il ressort de cela que parmi les individus ayant une dépense énergétique réelle inférieure à la dépense théorique, on retrouve les ex-fumeurs, les personnes en surpoids/obèses, les personnes ayant répétés des régimes sans activités physique, les personnes esquivant le petit déjeuner et privilégiant les repas copieux le soir, les personnes ne faisant que 2 vrais repas par jour et les personnes ne pratiquant pas de sport.

### 6.3.2. Les sportifs :

#### 6.3.2.1. *Les facteurs entrant en compte chez le sportif :*

Cette population est caractérisée par une dépense énergétique de repos assurant les fonctions vitales de l'organisme, et lorsqu'un état d'activité est enclenché la consommation d'énergie est fortement augmentée, nécessitant la consommation des réserves d'énergie formulée via les repas pris régulièrement. Les processus énergétiques des sportifs consomment les réserves selon le type d'activité, l'intensité et la durée d'exercice. Ces différences font que les muscles utilisent divers types de carburant selon les facteurs précisés ci-dessus : il en ressort l'importance d'étudier quels types de processus sont mis en jeu, afin de définir quels apports alimentaires sont les plus pertinents chez notre sportif.

Le sportif va dans un premier temps consommer les réserves de graisses (au niveau musculaire et adipeux) ainsi que les glucides présents dans les muscles et le système sanguin (tel que le glycogène et le glucose) : ces deux composantes font un mélange assurant les apports énergétiques nécessaire à notre sportif. L'organisme définit ce mélange selon les besoins que nécessitent la situation. L'organisme cherche à économiser ses ressources, donc dans le cas d'un exercice d'intensité modéré, il privilégie les graisses en s'assurant qu'elles délivrent une quantité maximale d'énergie pour une consommation minimale d'oxygène. Le mélange dépend de la durée de l'effort, plus l'effort tend en longueur, plus la part de graisse consommée se voit être importante. On s'aperçoit alors qu'il met tout en œuvre pour réserver les glucides aux situations d'urgences. Les graisses sont les réserves d'économie alors que les glucides sont les réserves d'urgence : la consommation de sucre est accrue lors d'une utilisation importante d'oxygène ou lorsque le débit d'O<sub>2</sub> est à son maximum. Si l'organisme ne consomme que des graisses, l'effort ne peut dépasser 50% de son intensité maximale.

Lorsque l'effort est si important que l'oxygène capté par les poumons ne suffit plus, on parle de situation anaérobie (sans consommation d'oxygène). Cette situation intervient pour faire le complément de la voie aérobie, mais est cependant beaucoup plus énergivore pour l'organisme. Pour une quantité précise de glucide, cette voie de soutien produit 12 fois moins d'énergie que la voie classique. Un gramme de glucide délivre quatre calories pour des conditions aérobies, alors qu'en conditions anaérobie, cela représente 0,33

calorie par gramme de glucide : les conditions métaboliques sont à prendre en compte dans l'élaboration de la nutrition. Attention cependant, cela nous donne une estimation des dépenses énergétiques pour une activité donnée, afin d'avoir une base pour optimiser le régime nutritionnel.

#### 6.3.2.2. Quelques exemples :

##### ➤ La course à pied :

En partant du principe qu'un coureur dépense  $1 \text{ cal/kg.km}^{-1}$ , on estime que pour une course de 10km et un poids de 70kg, l'athlète consomme 700 calories pour cette course. S'il effectue un exercice d'endurance dans des conditions d'aérobie, 90% de l'énergie provient des glucides et 10% des lipides. On fait le calcul suivant : (%de glucides consommé x calories consommées) /nbre de calories pour un gramme de glucide, ce qui donne  $(90\% \times 700) / 4 = 157,5\text{g}$  de glucide consommé lors de l'effort.

En revanche, si cela est un effort lors d'une compétition, avec une vitesse plus importante, on estime que la part anaérobie s'élève à 13% selon les données bibliographiques. Ceci change donc notre calcul, et aboutit alors à :  $(87 \times (90/100) \times 700) / 4 = 110,25\text{g}$  de glucide consommé lors de ce rendez-vous.

Les valeurs obtenues sont théoriques, sans facteurs perturbants (la nature du terrain, le pourcentage de dénivelé ou encore les conditions climatiques) apportant une résistance à l'athlète, qui fournit d'avantage d'énergie pour y répondre. Pour prendre en compte la résistance dans les montées et descentes, nous utilisons des facteurs dans nos calculs.

- Pour une distance à plat ( $x$ ), nous prenons le facteur  $k=1$  (car aucun dénivelé).
- Pour une distance en dénivelé positif ( $x'$ ), nous prenons le facteur  $k'=0,75$ , dû à la résistance proposée
- Pour une course en descente ( $x''$ ), nous prenons le facteur  $k''=0,7$ , dû au relâchement musculaire effectué dans cette descente.

➔ Distance équivalente parcouru =  $x' + (x'' \cdot k'') + (x \cdot k')$

Pour une montée de 6km, une descente de 8km et un dénivelé positif de 4%, cela nous donne un équivalent de 14,6km parcouru. En reportant ce résultat dans la formule

précédente, en prenant en compte un exercice d'endurance, et que 90% de l'énergie provient des glucides on obtient :  $(90\% * (14,6 * 70)) / 4 = 229,5$  gramme de glucide consommé. Cette méthode donne une approche de la réalité, même si elle a des limites, comme les situations avec des pentes très raides, où la consommation est croissante.

➤ Les cyclistes :

Dans cette pratique sportive, d'autres facteurs modulent la dépense énergétique (la présence d'un peloton, le vent de face ou style de coureur (sprint, montée, etc ...)). Par exemple un cycliste seul dépense plus d'énergie que s'il est au sein de groupe de cycliste car la résistance de l'air est plus importante. Il ressort qu'un cycliste de 70kg, allant à une allure comprise entre 25 et 35 km/h, face à un vent d'intensité faible, dépense entre 400 et 800 kcal.

➤ Les nageurs :

Ici, le poids n'a plus la même importance que pour les disciplines précédentes, du fait du déplacement horizontal dans la matière. Ici les facteurs modifiant la dépense sont l'entraînement, le type de nage, ainsi que l'intensité.

Style	Vitesse (km/h)	Dépense (kcal/h)
Brasse	1,2	270
	1,7	410
	2,2	600
	3,0	1000
Crawl	2,5	700
	3,0	850
Dos crawlé		600-800
Papillon		600-800

Figure 28 - Dépenses calorique selon la nage

➤ Le ski de fond :

Cette activité est considérée comme une des plus énergivores, avec des valeurs supérieures à 1000 kcal/h. Divers facteurs impact la dépense énergétique, tel que la préparation des skis, les conditions climatiques (température, état de la neige, vent, ...), présence d'un peloton, la technique du skieur, le style et la vitesse, les forces de frottements

avec la neige (selon le matériel utilisé), ou le port d'une tenue réduisant les frottements dans l'air afin d'améliorer l'aérodynamisme.

On estime que le ski en peloton réduit entre 6 et 14% la dépense énergétique et la technique du skieur peut impacter entre 20 et 40% la dépense énergétique.

#### 6.4. Les composés nutritifs nécessaires au sportif :

Comme énuméré précédemment, selon les conditions, la qualité des apports alimentaires est importante pour être pertinente sur l'amélioration de la performance physique. On prend en compte l'exercice et son intensité pour adapter l'apport nutritif, du fait que les fibres musculaires utilisent un mélange nutritif différent selon les facteurs cités plus haut. Ce mélange rassemble des lipides, des glucides et des protides (rôle structural lors d'un effort d'intensité modéré). Ces trois composés font parties de la famille des macro-nutriments. Les micro-nutriments tel que les sels minéraux, les vitamines les oligo-éléments sont primordiaux.

L'alcool n'est pas intéressant, malgré sa présence dans le quotidien ou dans le métabolisme, l'organisme arrive à le métaboliser, mais est un « parasite ». L'eau est indispensable au sein des apports. Il est le composé majoritaire de l'organisme, une privation prolongée conduit jusqu'au décès. La performance physique est liée à l'hydratation de l'athlète, elle est un facteur prépondérant de la réussite.

L'organisme produit une diversité de composés primordiaux, via sa production endogène d'enzymes. L'exemple d'un manque de glucide conduit à la mise en place des voies annexes de production de carburant énergétique. Il peut mettre en place des voies de conversion, pour transformer les glucides en réserves adipeuses. Cependant, certains composés sont dits « essentiels » et l'organisme est incapable de les synthétiser par lui-même, ce sont les acides aminés essentiels, classés parmi les protides. On compte également les vitamines, minéraux et oligo-éléments. L'alimentation quotidienne est composée de nutriments sans rôles énergétique, mais présentant un rôle physiologique (rôle structurale, effet anti-oxydant, ...), ce sont tous les phyto-nutriments présents dans les végétaux absorbés.

## 6.5. La question du poids et des régimes :

### 6.5.1. Les différents poids :

Il existe plusieurs termes faisant référence à la masse : il existe le poids de forme, qui est le poids pour lequel un individu propose des performances optimales, en dehors de ce poids, les performances sont diminuées, la récupération post-effort est plus efficace. Le poids idéal est le poids à avoir pour qu'un individu ai la meilleure espérance de vie.

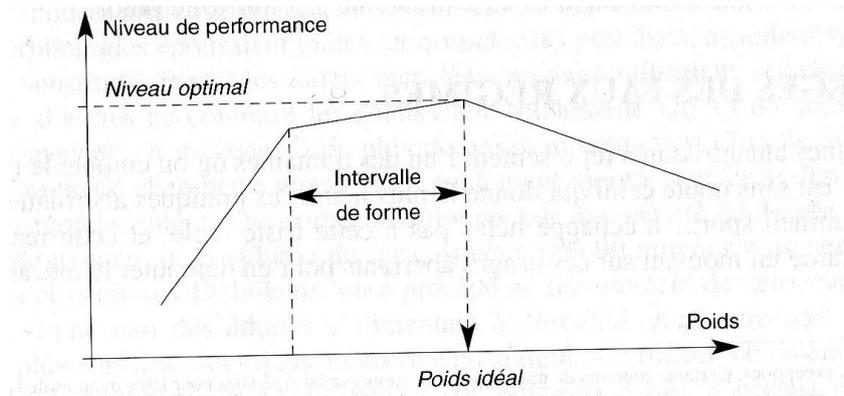


Figure 29 - Le rapport poids/performance

Il est logique qu'un poids important, plus élevé que le poids de forme, entraîne une baisse de performance. La baisse de performance est engendrée par des soucis mécaniques imposés par le surpoids, ainsi que par la surcharge pondérale que l'organisme doit gérer. Cependant, une perte de poids exagérée induit aussi une baisse de la performance, et cette baisse est bien plus prononcée qu'en cas de surcharge. Cela s'explique par le fait que la perte pondérale est liée à une perte de masse musculaire mais également par un système immunitaire diminué ou encore une baisse des globules rouges (transporteurs d'oxygène). L'objectif est de déterminer le poids de forme du sportif et de réduire sa masse adipeuse autant que possible. Il faut déterminer les limites à ne pas franchir, afin d'être raisonnable et de ne pas être trop agressif avec l'organisme. On détermine l'écart du poids d'un individu avec son poids de forme par la formule :

$$(\text{Taille en cm} - 100) - (\text{poids en Kg})$$

⇒ Un athlète cherche un écart égal à 10 pour son poids de forme.

La prudence est de mise avec ces estimations chez les sportifs de très haut niveau, il arrive d'obtenir des écarts de -15, dû au contexte héréditaire à l'origine d'un nombre d'adipocytes

plus faible que la moyenne. Ce facteur n'est pas considéré dans le principe du poids de forme, nécessitant donc d'individualiser la diététique du sportif, au risque d'entraîner une privation alimentaire, impactant sur l'athlète (physiologiquement et psychologiquement). Afin de savoir si l'on est au bon poids de forme, il est intéressant de faire une mesure des plis, s'approcher d'un écart de -10, faire un suivi du rapport poids/performance à chaque compétition et également être attentif au ressenti de l'entraînement selon les variations de poids.

#### 6.5.2. La question du régime :

De nombreuses idées reçues ont lieu quand on parle de « régimes », ils sont pour la majorité aberrants car déséquilibrés et non adaptés à la pratique sportive.

##### 6.5.2.1. *Les édulcorants :*

Ce sont des substances qui possèdent un fort pouvoir sucrant, intéressant afin de donner un goût plus acceptable à des préparations, l'intérêt porté à ces substances est dû à leur faible apport calorique. Cela rend ces composés très intéressants, pour pouvoir jouir de produit « sucré » et d'être tenté à la gourmandise, sans venir gâcher les efforts d'un régime avec l'excès calorique du saccharose. On connaît par exemple la saccharine, l'aspartame, etc .... Cependant les études se contredisent sur l'impact de ces édulcorants : certaines études indiquent une baisse des calories ingérées avec la consommation d'édulcorant, cependant ces études ne portent que sur de courtes périodes. D'autres études menées sur des périodes plus étendus montrent l'inverse : l'appétit est stimulé au lieu d'être inhibé après l'ingestion d'édulcorant. Une étude en particulier le montre bien : pour 78 694 femmes de 50 à 69 ans, à morphologies variables, la consommation d'édulcorant régulière correspond à une prise de poids plus importantes sur 12 mois. La prise régulière d'édulcorant à la place de sucre a également des effets pernicieux sur le métabolisme et est capable de le modifier. Pour une consommation régulière d'édulcorant, lorsque le sujet reconsume le même aliment mais normalement sucré cette fois, le pic glycémique est bien plus important que la normale et de ce fait, la réponse hypoglycémique s'avère également plus sévère.

Dans le cas d'une consommation pour un sportif ayant un régime alimentaire spécifique, où l'athlète recherche une sensation agréable de sucré sans déroger à son planning nutritif, la prise de ces substances s'avère perverse. Le sportif consomme les réserves glucidiques lors de ses séances et a besoin de les reconstituer, de plus le cas de la collation

durant la séance est très important, nous le verrons plus tard. Mais avec la prise de ces « faux sucres », aucune calorie n'est réellement apportée à l'organisme et entraîne un manque au niveau de l'équilibre nutritionnel. Cette privation de glucide induit une consommation excessive compensatoire ultérieure : lors d'une durée prolongée de manque, il apparaît un besoin de manger (majoritairement des éléments sucrés). Cette situation où l'athlète « craque » face à des aliments sucrés, entraînant une culpabilité chez le sportif, résultat du phénomène de sevrage en composés essentiels auquel il fait face. Il vaut mieux consommer une plus grande quantité de glucides à un certain moment de la journée que de grignoter plusieurs fois au cours de la journée.

Lorsqu'un aliment sucré est en bouche, il déclenche un effet physiologique qui prépare l'organisme à un apport, c'est la phase céphalique : avoir un produit sucré entraîne une série de réaction conduisant à une libération d'insuline, permettant de répondre à l'apport en glucide afin de régulariser le taux de sucre sanguin. Lors d'un apport d'édulcorant, le même phénomène se produit, cependant le taux de sucre sanguin étant déjà normal, ce produit alors une hypoglycémie, perturbant le bon fonctionnement physiologique et intellectuel du sujet d'étude.

Donc pour résumer, les édulcorants stimulent l'appétit et l'hypoglycémie, perturbant le bon fonctionnement de l'organisme. Malgré cela, il existe des cas de régimes alimentaires où les édulcorants peuvent présenter un intérêt :

- Pour certain régime dissocié, dit régime « scandinave », qui cherche à réduire l'apport de glucide temporairement afin de stimuler la formation ultérieure des réserves de glycogènes.
- Pour les personnes qui consomment des glucides simples en trop grande quantité et ayant des déséquilibres nutritionnels. La consommation d'édulcorants présente un intérêt lors de la transition afin de garder la sensation de sucré. Mais à terme, la réhabilitation à un régime alimentaire correct est nécessaire.

#### *6.5.2.2. Les régimes sans intérêts :*

Lorsqu'un individu cherche à perdre des kilogrammes superflus, il s'oriente vers des « régimes miracles », espérant observer une perte de poids rapide. Cela ne tient dans le temps que très rarement avec ce genre de régime et au contraire perturbe le système métabolique.

➤ Les régimes disproportionnés :

C'est lorsque la ration journalière est grandement diminuée, que l'on cherche un déséquilibre alimentaire afin d'induire un amaigrissement. On en connaît divers, certains excluant les lipides, d'autres les glucides. Un des plus connus est le régime d'Atkins, favorisant les protéines et lipides (viande, laitage, charcuterie), mais donne lieu à de nombreux inconvénients tel que des déficits en minéraux dans les urines (dû au défaut d'approvisionnement), une élévation de corps cétonique (car les graisses sont mobilisés au profits des protéines, produisant des corps cétonique, bloquant l'appétit et acidifiant l'organisme, réduisant l'élimination d'acide urique, et les corps cétonique perturbe le bon fonctionnement cérébral). Ce régime d'Atkins fut longtemps discuté, il est cependant remis au goût du jours depuis quelques années, en veillant bien à l'adapter afin d'esquiver les défauts : limitation des lipides, recherche d'apports protéiques à valeur nutritives et biologiques intéressantes, ainsi qu'une supplémentation en minéraux et vitamines : cela correspond au « jeûne protéiné », déconseillés pour les athlètes d'endurance.

On connaît également le régime « dissocié scandinave », soumis à avis et accord d'un médecin. Ce régime limite de façon draconienne les apports glucidiques pendant 3 jours, mais reste quand même très risqué et très difficile à mettre en place, il est très fortement déconseillé aux jeunes athlètes en tant que tel.

On dénombre également les régimes de « Scardale », « de Cambridge », « de la mayo clinic », « du docteur stillman », présentant tous des défauts majeurs (*tableau descriptif en annexe*)

➤ Les régimes exclusifs :

Lorsqu'un régime est basé sur un seul aliment ou groupe d'aliment, ils sont très restrictifs. On rapporte des effets miracles de la part de ces régimes, avec un effet incroyable sur les réserves en graisse mais celle-ci sont pernicieuse. Ce sont des régimes alimentaires inadaptés et déconseillés aux sportifs du fait augmentant le risque de déséquilibre métabolique.

➤ Les associations particulières :

Ici on cherche des associations spécifiques de certaines denrées et la non-consommation de certaines autres. Ces associations n'ont aucune preuve d'efficacité réel sur une perte de poids de façon saine. De plus, ces régimes particuliers n'habituent pas le sujet à de bonnes pratiques alimentaire et conduisent à des carences.

6.5.2.3. *Le jeûne :*

Il existe diverses approches du jeûne, prenant source dans diverses motivations. Il peut être entrepris afin de purger l'organisme, afin d'influer sur les performances à venir en agissant sur le métabolisme, ou encore pour des considérations religieuses.

Le jeûne conduit à un problème majeur : le dysfonctionnement du système nerveux par manque d'énergie. Le cerveau est généralement alimenté par le glucose, face au manque l'organisme met en place un système de secours mobilisant les réserves hépatiques en glycogènes. Néanmoins cette voie d'urgence n'est que de courte durée, car permet à l'organisme d'organiser les autres voies, tel que la néoglucogenèse (fabriquant des sucres à partir d'éléments non glucidiques), tandis que certains tissus se sacrifient en libérant leurs constituants pour alimenter les organes vitaux. Au bout de quelques jours d'abstention alimentaire, la consommation de sucre par l'organisme est réduite de plus de 50%.

Passé un certain degré de jeûne, le cerveau acquiert la capacité de consommer les corps cétoniques, déchets métaboliques des acides gras. Ils apportent la majorité de l'énergie nécessaire au corps au-delà de 2 semaines de jeûne. Toujours est-il que ces composés ont tendance à acidifier l'organisme, perturbant divers tissus et augmentent les pertes minérales. On additionne à cela la destruction des protéines, relarguant de nombreux déchets azotés, impactant très fortement le métabolisme et particulièrement la fonction rénale. Malgré le fait que la consommation alimentaire soit réduite à rien ou presque, le métabolisme lui est fortement impacté et l'organisme cherche des solutions pour répondre à son fonctionnement.

Le jeûne vise donc à n'avoir aucun apport calorique dans la journée, alors que l'organisme consomme entre 1600 et 2200 calories par jour. Le déficit crée impose à l'organisme de brûler ses réserves. Comme vu précédemment, un jeûne sur une courte période ne mobilise que les réserves hépatiques en glycogène, soit une perte d'une centaine de gramme, sachant que ces réserves sont très rapidement reconstituées lors du repas

suivant. Faire des jeûnes hebdomadaires n'influe par réellement sur le poids, sachant que le déficit glucidique crée entraîne une compensation calorique les jours suivants. Si la privation dure plusieurs jours, on estime qu'il y a perte de 400 grammes de poids corporel par jour, cependant cette perte n'est pas au niveau de la graisse mais plutôt sur les protéines et l'eau, pertes néfastes pour l'organisme. Pour un jeûne prolongé, supérieur à une semaine, le métabolisme de repos diminue, entraînant une perte de poids plus lente. C'est une phase d'hypométabolisme, et lorsque l'alimentation est reprise de façon normale après le jeûne, le sujet s'expose au risque de l'effet rebond. Un jeûne prolongé expose à des carences en minéraux (le magnésium, le calcium et le fer).

Quel est la différence entre des efforts d'intensité modérée et prolongée et des efforts d'intensité modérée, dans une situation de jeûne ? Pour une intensité modérée et longue, ne dépassant pas les 60% de la  $VO_2$  max, le jeûne n'impacte pas la performance, cependant lorsque la  $VO_2$  max augmente, l'endurance décroît chez les sujets. Cette baisse de performance liée au jeûne s'explique par l'acidification à laquelle l'organisme fait face, ce changement de pH physiologique induit une baisse des capacités physiques et de la performance, phénomène davantage marqué pour un effort d'intensité importante. Un déséquilibre induit par le jeûne au niveau des neurotransmetteurs est observé : taux d'adrénaline libéré est plus important chez un sujet à jeûne, mais le neurotransmetteur d'intérêt est la sérotonine, également produite en plus grande quantité lors d'un jeûne, c'est ce composé chimique qui donne la sensation de fatigue, à la suite de la consommation d'acide gras et d'acides aminés lors de la période de jeun.

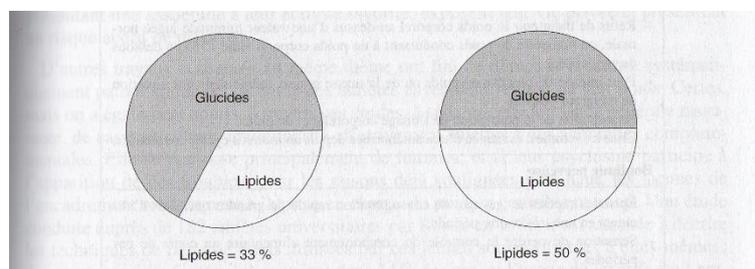


Figure 30 - L'intérêt des séances à jeûne (après petit déjeuner vs jeûne)

En outre, il ressort un intérêt pour la consommation des lipides par l'organisme lors d'un entraînement en situation de jeûne, intéressant pour l'athlète cherchant à perdre de la masse grasse. Les filières de secours restent mobilisées même après l'arrêt de l'exercice,

faisant en sorte que la consommation de lipide brûlé est plus importante que le total calculé pour la durée de l'effort. De ce fait, il en résulte une adaptation nutritionnelle impérative pour le sujet, car malgré la consommation de lipide, l'organisme dégrade d'autres composés, tel que les protéines, qu'il doit régénérer, le repas post-effort doit être plus important qu'habituellement, avec un surplus en protéines (œuf, laitages, dérivé de soja, ...). Il faut retenir qu'un exercice physique à jeûne réduit l'adiposité et n'augmente pas la performance.

### 6.5.3. L'influence du contexte :

Certains facteurs influencent le bon fonctionnement du corps. Avec dans un premier temps le contexte social, qui par la société impose des normes de poids et de forme, chose qui s'avère irréaliste et dangereux avec par exemple la légende de « la taille mannequin », qui conduit souvent à l'anorexie, ou à son opposé, la boulimie. Ces troubles alimentaires touchent un grand nombre de sportif, mais la population générale est elle-même fortement impacté par celles-ci. La pression de l'entourage des athlètes est à prendre en considération.

Certaines disciplines sont reliées à des troubles du comportement alimentaire, tout d'abord les disciplines qui incitent à respecter un certain poids (l'exemple des judokas qui changent de catégories). Par exemple dans le cadre de l'étude menée par le Dr Alayne Yates, qui présente un parallèle entre la pratique du « jogging » et la croissance du nombre d'adolescents anorexique aux états unis dans les années 1970. Pour cela il a mis en évidence les préoccupations communes de ces deux populations, que sont la surveillance du poids, la gestion de l'alimentation et de l'impact psychologique que cela peut avoir. Il est donc nécessaire de surveiller l'intégrité psychologique et physiologique de l'athlète, malgré la recherche de performance et la sur-surveillance alimentaire. Une étude norvégienne met en avant le terme « d'anorexie sportive », rassemblant un effectif de 522 sportives norvégiennes, de diverses pratiques sportives. Après deux phases : un questionnaire sur les anomalies alimentaires, puis un entretien clinique et psychologique sur 103 sujets sélectionnés, il émane de l'étude que plus d'un cinquième de ces sportives souffrent d'anorexie sportive (différente de l'anorexie comme on peut l'entendre classiquement). Les auteurs de l'étude définissent l'anorexie sportive comme une peur intense de prendre du poids même si leur poids corporel est inférieur à 5% à la normale pour des femmes du même âge, et le second critère est de maintenir ce poids via une restriction alimentaire à moins de 1200kcal/jour. Une autre face de ces pratiques, retrouvés fréquemment chez ces athlètes, est de se faire vomir

volontairement et de consommer des laxatifs, développant des troubles digestifs, et induisant des absences/retards dans le cycle menstruel.

Cette mauvaise nutrition, associée à un entraînement intensif provoque des troubles hormonaux chez les sujets, impactant fortement le bon état de santé. A partir de là, on définit la « triade de l'athlète » : troubles alimentaires, aménorrhées et déminéralisation osseuse. Phénomène fortement amplifié par la situation de déficit nutritionnels, notamment visible pour le calcium et le fer.

<b>Sports esthétiques</b>	34%
<b>Sports avec catégories de poids</b>	27%
<b>Sports d'endurance</b>	20%
- <b>Ski de fond</b>	- 33.3%
- <b>Course de fond et ½ fond</b>	- 27.2%
- <b>Cyclisme</b>	- 20%
- <b>Natation</b>	- 15%
- <b>Course d'orientation</b>	- 10%
<b>Sports techniques</b>	13%
<b>Sports de balles et de ballon</b>	11%

Figure 31 - Fréquences des troubles alimentaires dans différents sports

#### 6.5.4. Dans l'idéal :

Afin de savoir si un régime est efficace il faut regarder si les réserves lipidiques sont consommées, sans qu'elles soient entièrement reconstituée par le biais de l'alimentation. Il faut avoir en tête qu'une alimentation saine ne fait pas tout, il faut que l'organisme s'adapte également, au niveau de sa prétention à mobiliser les réserves énergétiques, il doit également modifier son métabolisme de repos ainsi qu'adapter ses réponses nerveuses et hormonales. Plus un effort physique est long et intense, plus l'organisme adapte ses phénomènes physiologiques et inversement pour une pratique physique nécessitant moins d'endurance, ceci est visible si on compare un marathonien à un judoka par exemple :

	<b>Marathonien</b>	<b>Judoka</b>
<b>Calories consommés/jour</b>	3500 à 4000 kcal/j	< 3000/j
<b>Mobilisation des lipides</b>	Facile	Faible
<b>Utilisation des lipides</b>	Peut-être significative	Sans trop intérêt
<b>Poids de forme</b>	Sans régime sévère : poids idéal +/- 5%	Nécessite un régime dur : poids idéal +/- 10%
<b>Ecart de poids/an</b>	2 à 4kg	4 à 12kg
<b>Tolérance à la déshydratation</b>	- 2 à 4% du poids	- 6 à 8% du poids

Figure 32 - Comparaison marathonien vs judoka

Un marathonien pratique un effort prolongé, et est plus à même de consommer les lipides stockés, tout en considérant l'importance de l'hydratation. Un sportif d'endurance a des muscles mieux irrigués par le compartiment sanguin, donc l'apport en acides gras est plus important, les tissus sont plus réactifs aux signaux hormonaux, leur structuration enzymatique est plus complète et modulable, et l'usage des « cycles futiles » est facilité. On y ajoute également une capacité à mieux s'occuper du glycogène dans des situations de repos ou après l'effort. Tandis que pour un individu sédentaire dans la même situation, il consomme moins de graisse que les autres sportifs, et réduit son métabolisme de repos plus rapidement que les autres. Les adaptations de l'organisme face à un entraînement régulier contribuent à une adaptation de l'organisme pour avoir un meilleur usage des réserves lipidiques, peu importe la situation (que l'on soit au repos ou après un effort).

Lors de l'effort, plus celui-ci est long, plus la consommation en lipide augmente. Mais cela présente ses limites pour la course à pied, les solutions sont de réaliser un effort à jeun après une nuit de sommeil (qui correspond métaboliquement au début de la 2<sup>ème</sup> heure d'un marathon afin de consommer les lipides stockés, de plus le petit déjeuner qui suit est plus adapté par le faible apport lipidique et l'important apport glucidique qu'il représente) ou de fractionner une séance en 2 (le repas post-effort est plus important dans cette situation).

La solution du régime hypo lipidique se présente du fait de la perte de poids recherchée, la pratique sportive fait fondre les réserves adipocytaires, qui permet d'éliminer les facteurs de risques physiologiques tel que le LDL-cholestérol, les triglycérides ou autres

composés néfastes au bon fonctionnement du corps. Pour qu'un régime puisse être abordé de la bonne façon, il doit être sain, présenter un déficit énergétique lié à une perte de 800g/semaine, couvrir les apports nutritionnels conseillés, encourager à maintenir ce régime de vie sans risque de rebond. L'objectif est de réduire les apports lipidiques afin d'en consommer davantage que ce qui est mis en réserve. Pour les glucides, leur réserve est localisée au niveau hépatique, dès que celle-ci diminue, la sensation de faim apparaît et encourage à la consommation. Quant aux lipides, il y a un équilibre entre entrée et sortie de lipide, si on réduit drastiquement les apports lipidiques, on brûle les lipides en réserve jusqu'à ce que le nouvel état d'équilibre apparaisse. Mais une fois ce nouvel état d'équilibre atteint, avec une quantité de lipide absorbé déjà réduite, il est difficile de réduire davantage les lipides : un régime présente une efficacité temporaire. Afin de réussir cela, on vise une alimentation où les lipides représentent 20% de l'énergie dépensée, pour cela il est recommandé de consommer des aliments allégés en graisse : il faut des apports en protéines et pauvres en graisse une fois par jour (bœuf, veau, lapin, volaille, charcuterie allégé/dégraissé, ...), des laitages pour tous les repas (fromages blanc à 0%, lait écrémé ou ½ écrémé), des céréales, légumes secs, fruits et légumes verts, des poissons gras (de temps à autre pour les AGE), et des compléments nutritionnels (pour venir atteindre l'intégralité des micro-nutriments). Lorsque l'objectif de poids est atteint, il est important de maintenir une activité physique en plus du retour à une alimentation plus « habituelle », à ce moment-là l'organisme vient trouver son nouvel équilibre. Ce type de régime hypocalorique est relié à une perte de protéines et donc une perte de masse musculaire et d'affaiblissement du système immunitaire. Le souhait de maintenir un entraînement physique intense nécessite donc un apport de glucides complexes afin de répondre aux troubles vu précédemment. Pour cela 250g de glucides chaque jour réduisent les risques, tout en permettant une perte de poids sans mise en danger de la santé. L'alternative est de consommer des protéines « ramifiées » et ayant une teneur intermédiaire glucidique, cela assure une perte de graisse importante tout en préservant la masse musculaire. L'absorption de glucide à fort index glycémique se révèle également intéressante en cours de séance ou en phase de récupération, afin de reformer les réserves de glycogènes : il est important de privilégier les sucres lents pour les repas et les sucres rapides pour les entraînements et la récupération.

Les « cycles futiles » présentent une importance dans un programme de nutrition à visée de performance, malgré leur dénomination ils présentent un rôle essentiel dans l'activité métabolique de l'organisme et son adaptation face aux apports. Ce terme correspond aux processus où un composé est pris en charge par la machinerie enzymatique de l'organisme, qui suite à plusieurs réactions redonne le même composé de départ, tout en consommant de l'énergie : ces processus augmentent la dépense énergétique, même si elle s'avère minime et avec un faible impact sur le poids, ces phénomènes sont primordiaux. Ces cycles sont retrouvés au niveau du tissu hépatique, tissu adipeux et tissu musculaire et contribuent au bon équilibre énergétique. De plus on sait que ces cycles ont tendance à diminuer ou disparaître chez les populations obèses et/ou âgées. Pour la population obèse, la surconsommation alimentaire n'est pas la seule cause du surpoids, cela est également dû aux cycles futiles qui se trouvent inhibé et donc un métabolisme de repos abaissé par rapport à la normale. Ces cycles sont visibles pour ces populations sur la production de chaleur, chez une personne en situation de surpoids, la capacité à produire de la chaleur lors d'une prise alimentaire importante se trouve être abaissé : dans le cas d'une personne de poids normal, ces cycles ont peu d'importance. Certains neurotransmetteurs interviennent sur les cycles futiles, tel que l'adrénaline ou les endorphines, témoignant de l'importance de manger des aliments que l'on apprécie. Les endorphines stimulent ces cycles, car la contrainte psychologique reste tout de même un facteur important de réussite dans la performance physique et l'objectif de poids : une éducation des comportements nutritionnels doit être associé à un « lien affectif » avec les aliments consommés. Cette caractéristique est intéressante pour les principes de cheat-meals. Pour terminer, ces cycles expliquent le phénomène « d'extra chaleur », c'est-à-dire que la température de l'organisme augmente et dépasse la température normale de l'organisme. Lors d'un repas, il y a ingestion d'acides aminés, de triglycérides, d'acides gras libres, ... entraînant une production de neurotransmetteurs, qui stimulent les cycles futiles. Ces cycles consomment de l'énergie, entraîne une élévation de la température du corps : pour un sujet maigre, un repas copieux entraîne une production importante de chaleur et donc représente une consommation importante d'énergie. Cela associé à la consommation de graisse par l'organisme après une séance, le sportif consomme plus de graisse au repos puisque les cycles futiles sont en action.

On observe souvent des athlètes consommer des rations plus importantes que ce que les besoins théoriques préconisent, ceci à cause des cycles futiles.

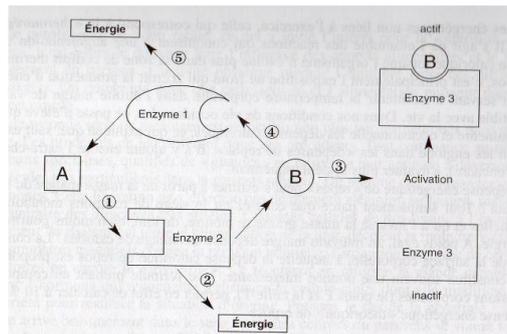


Figure 33 - Les cycles futiles

## 6.6. L'influence du microbiote digestif :

### 6.6.1. Qu'est-ce que le microbiote digestif ?

Comme vu précédemment, le tube digestif est capable de digérer les aliments et a un rôle prépondérant sur l'alimentation et donc la performance par la même occasion. Il est estimé que le tube digestif prend en charge plus de cent tonnes d'aliments au cours de la vie. Plus un repas est riche, plus la digestion est performante. Cela grâce à la structure du tube digestifs mais aussi du microbiote qu'il contient, avec notamment une quantité importante de micro-organisme (bactéries, virus, champignons, levures, ...) agissant en synergie avec l'individu. Ce biote assure le bon fonctionnement du système immunitaire, de la digestion ainsi qu'une activité métabolique prépondérante (fermentation de résidus glucidiques et protidique, régulation du stockage des corps gras et la synthèse de vitamines).

Un déséquilibre de cette flore est en lien avec les troubles digestifs et/ou les pathologies digestives. Cette flore pèse environ 2 kilogrammes et est constitué de plus de 100 000 milliards de bactéries, on retrouve à son sein des bactéries bénéfiques. En cas de déséquilibre du microbiote, la proportion de bactérie positives diminue au bénéfice de bactéries néfastes à l'organisme car productrice de substances toxiques entraînant une inflammation et des troubles. La composition du microbiote n'est pas fixe, elle varie d'un individu à l'autre selon divers facteurs (alimentation, mode de vie, activité physique, stress, ...). Une alimentation et un mode de vie saine contribue fortement à une flore digestive stable et performante.

La pratique sportive engendre des modifications de la flore, ces modifications sont réversibles à l'effort. Cependant cela impacte la performance et la capacité d'endurance : par exemple une situation de dérégulation des cytokines à activités pro-inflammatoire et anti-inflammatoire est observée, augmentant alors la perméabilité intestinale et modifiant ainsi l'absorption de pathogène pouvant créer divers troubles de l'organisme. Le régime alimentaire spécifique du sportif entraîne également une modification du transit digestif. Il ressort qu'une pratique physique de haut niveau conduit à des adaptations du biote.

#### 6.6.2. Comment « améliorer » notre microbiote ?

Plusieurs stratégies d'offre à nous pour accroître les performances par l'intermédiaire du biote.

L'utilisation de prébiotiques, à base de fibres alimentaires provenant de légumes, fruits et céréales. Ceux-ci agissent en stimulant la croissance et/ou l'activité des agents du microbiote digestif. Ils sont à prendre avec précaution car améliorent le transit intestinal mais peuvent également conduire à une fermentation du contenu digestif. Ces fibres alimentaires végétales peuvent être réduites dans le cadre d'un régime sans gluten, en cas de régime strict des carences sont susceptibles d'apparaître.

L'OMS définit la stratégie suivante par des « micro-organismes vivants, qui lorsqu'ils sont consommés en quantités suffisantes, améliorent la santé de l'hôte en ayant une action équilibrante sur la flore intestinale » : ce sont les probiotiques. Retrouvés en pharmacie au sein de médicaments ou de compléments alimentaires, ce sont des souches microbiotiques. Leurs actions ont lieu sur la muqueuse digestive et l'activité cellulaire intestinale qui se trouvent accrues. Tous les probiotiques n'ont pas la même composition en souche, et l'amélioration est souche-dépendante et dose-dépendante, selon le déséquilibre microbiotique dont souffre notre sportif. Il ressort que la prise de probiotique par le sportif améliore ses performances physiques, réduit les effets indésirables observés lors de l'effort physique et réduit également le risque d'infection. La récupération se trouve également améliorée suite à la prise prolongée de souche microbiotique diversifiée. Des premières études menées chez l'humain montrent certains effets intéressants pour le sportif : une amélioration de la composition corporelle, une diminution de la production d'acide lactique, une baisse du

taux de testostérone, une diminution des taux de cortisol et un accroissement de la production de neurotransmetteurs.

## 7. Recommandations nutritionnelles chez le sportif :

Chaque activité physique possède des spécificités, les apports conseillés en découlent, que ce soit selon le sujet, la pratique, l'intensité, le niveau de pratique, la durée d'effort, etc ... Comme évoqué précédemment, il ne faut pas négliger le fait d'individualiser les conseils, ceci en fonction des allergies, des intolérances, du contexte physio-pathologique. De bon apports viennent reconstituer les réserves énergétiques, compensant ce qui a été consommé pendant un effort. Divers substrats peuvent être utilisés, que ce soit réversible (synthétisé par l'organisme) ou non (l'organisme n'est pas capable de les synthétiser, à moins de mettre en péril son bon fonctionnement métabolique et physiologique).

### 7.1. Les apports protéiques :

Les protéines, de structure principalement, ont une vitesse de renouvellement très lente. De plus la discipline pratiquée (endurance ou force) induit des besoins différents.

#### 7.1.1. Dans le cadre du sportif d'endurance :

La structure protéique du muscle est attaquée lors de l'effort et cela s'en ressent lors du repos (microlésions, réaction inflammatoires locales). Les acides aminés composent les protéines musculaires et sont consommés pour fournir de l'énergie. Un taux d'urée plasmatique élevé indique un catabolisme oxydatif des protéines, le taux est plus important avec un effort prolongé. Le taux d'urée éliminée est plus faible car l'élimination rénale diminue lors d'un effort, mais l'urée reste éliminée par voie sudorale. Les protéines et acides aminés musculaires représentent à 5 à 15% de la contribution énergétique de l'effort, ce pourcentage est croissant avec la durée de l'effort et selon les réserves hépatiques en glycogènes. Les apports protéiques représentent 12 à 16% des apports énergétiques totaux quotidiens afin d'avoir une balance énergétique équilibrée.

On observe à la fin d'un exercice, une élévation des marqueurs de dégradation des protéines contractiles (= la 3-méthyl-histidine), au niveau sanguin et urinaire. L'élévation indique une dégradation protéique, auquel s'ajoute les protéines sarcoplasmiques dégradées lors de l'effort. L'élévation des taux en protéines sarcoplasmiques (tel que la créatine kinase)

témoigne de la dégradation protéique. Ici la dégradation est biochimique (radicaux libres oxydants) et mécanique (libération du contenu intracellulaire). Phénomène visible dans les efforts à contraction excentrique (étirement, course en descente, ...). Les protéines dégradées demandent à être remplacées, auquel cas les performances physiques s'en retrouvent diminués. La synthèse protéique est abaissée durant l'effort d'endurance, et augmente dès la fin de cet exercice physique, proportionnellement au taux d'insuline plasmatique. La protéosynthèse dure plusieurs jours après l'effort (en fonction des apports).

Le calcul du bilan azoté permet de déterminer les besoins protéiques de l'individu, c'est un témoin de la différence entre apports protéiques et l'élimination des substances azotées (=témoin de la dégradation protéique). Si un sédentaire commence une activité physique, le bilan azoté n'est plus à l'équilibre, il faut le compenser en augmentant les apports protéiques. De même au niveau de la qualité de l'effort, pour deux efforts de même durée, mais de pratiques différentes (course à pied vs cyclisme), les efforts excentriques endommagent davantage les muscles, déséquilibrant le bilan azoté. Ce bilan est à compenser en élevant les apports protéiques. De plus, en cas d'apport glucidiques insuffisant, l'équilibre azoté est plus difficile à équilibrer et induit des besoins d'apports protéiques supérieurs, cela entraîne une hausse du fonctionnement hépatique et rénale pour purger la production accrue d'urée. Tandis que pour un apport glucidique important, les besoins protéiques ne changent pas.

L'objectif est d'avoir un équilibre entre entrée et sortie de protéines. On prend en compte les variations métaboliques interindividuelles, la biodisponibilité des aliments et de l'état de transformation des aliments dans notre calcul.

- On estime que pour des sportifs de loisirs, ou pratiquant l'activité régulièrement (3 fois une demi-heure par semaine), à une intensité modérée, les apports nutritionnels conseillés sont les mêmes que pour la population générale : soit environ  $0,8\text{g}\cdot\text{kg}\cdot\text{j}^{-1}$  pour un jeune adulte de sexe masculin ou féminin. Cela pour des protéines de qualité (œuf, lait, viande, poisson).
- Pour un début d'activité physique, les apports sont accrus au début de la pratique : durant les deux premières semaines, les besoins sont  $1,5\text{g}\cdot\text{kg}\cdot\text{j}^{-1}$ .
- Pour des sportifs de niveau plus élevé, pratiquant la course de longue distance et suivant un entraînement quotidien, les apports à avoir sont 1,5 à 1,7 fois plus

important que les apports de la population générale, pouvant atteindre 2 fois les apports en période d'entraînement important.

#### 7.1.2. Dans le cadre du sportif de force :

Les sportifs de cette catégorie cherchent à développer leur masse musculaire et/ou leur force, en rendant le bilan azoté positif : les apports protéiques sont alors très importants.

A la fin d'un entraînement de force, l'élimination protéique est augmentée, en témoigne la concentration élevée de 3-méthyl-histidine. Une activation de la synthèse protéique a lieu pour générer la prise de masse musculaire. La quantité d'entraînement doit être nécessaire, ainsi que les apports protéiques suffisant. Les apports en glucides et en eau sont à prendre en compte pour la synthèse protéique. Les apports en lipides peuvent être réduits pour équilibrer le bilan énergétique, à un niveau de 15% des apports énergétiques totaux, en contrepartie, les apports protéiques représentent de 20 à 40% des AET.

Un sportif de force a besoin « d'apports de sécurité » afin d'équilibrer son bilan azoté afin de maintenir sa masse. Ces apports équivalent à  $1,5\text{g.kg.j}^{-1}$ . Quand on regarde une personne qui cherche à développer sa masse musculaire, la balance azotée doit pencher du côté des apports, pour cela il consomme 2 à 3 g de protéines par kilo par jour. Cette démarche nécessite un contrôle médical impératif afin de s'assurer de la non-toxicité du processus. Ce processus ne doit cependant pas excéder 6 mois par an. Il est nécessaire qu'au minimum 66% des apports soit assuré par l'alimentation quotidienne, il est possible de compléter avec des mélanges (hydrolysats protéiques, etc ...), sans oublier les autres nutriments dans les apports (glucides, eau et micro-nutriments). Il est risqué de dépasser  $3,5\text{g.kg.jour}$  d'apport protéique, du fait de l'élévation de l'élimination rénale azoté et calcique.

#### 7.1.3. Les acides aminés :

Dans la situation d'un effort aérobique long, couplé à des apports glucidiques faibles, les acides aminés ramifiés sont dégradés. On estime nécessaire d'apporter  $30\text{mg.kg.j}^{-1}$  de leucine afin de préserver l'intégrité (pour un entraînement régulier), atteignant  $45\text{mg.kg.jour}$  pour les apports de sécurité d'un sportif de force. Cet acide aminé représente 5 à 10% des constituants protéiques. Pour répondre à ces besoins protéiques, une alimentation respectant les ANC suffit. Chaque acide aminé nécessite des besoins minimaux, l'objectif est d'apporter des

protéines assurant un apport de toutes des acides aminés essentielles, l'aliment présentant la meilleur « protéine idéale » est le blanc d'œuf, devant la viande et les laitages.

Il est possible de faire une supplémentation en acides aminés à chaîne ramifiée (AACR) dans le cadre d'effort prolongé. Cette supplémentation permet de lutter contre la baisse de la teneur plasmatique en AACR. Elles entraînent un retard dans l'apparition de la fatigue : une supplémentation n'est alors pas recommandée, car la fatigue est un signal d'alarme de l'organisme. De plus on observe une élévation de l'ammoniémie, délétère pour le corps. Un autre acide aminé, dégradé lors de l'effort, est primordial pour le bon fonctionnement de la machinerie biologique : la glutamine, ayant une importance dans la défense immunitaire. Dans le cadre d'efforts répétés, les taux de glutamine s'avèrent diminués, et le risque infectieux augmenté, cela est évitable par des apports alimentaires équilibrés journaliers, la supplémentation est possible si l'alimentation ne suffit pas.

La prise d'acide aminé en supplémentation est à l'origine d'effets « dopants ». Car certaines acides aminés (arginine ornithine, lysine, ...) sont lié à une libération d'hormone de croissance, impactant alors le physique du sportif et présentant alors un risque pour la santé.

Pour conclure, il n'est pas recommandé de faire de supplémentation en acides aminés, du fait des déséquilibres qu'elles peuvent induire, de leur effet sur l'organisme et leur effet « dopant » : elles ne présentent pas de réels bénéfices.

## 7.2. Les lipides dans l'alimentation du sportif :

Les corps gras représentent 30 et 35% des apports nutritionnels conseillés. On retrouve certains acides gras, dis essentiels, nécessitant des apports réguliers par l'alimentation : l'acide linoléique et l'acide alpha-linolénique.

### 7.2.1. La dégradation des lipides

L'oxydation lipidique implique une grande quantité d'oxygène, cependant la quantité d'énergie produite est considérable. La pratique d'un exercice physique est corrélée à une élévation du taux d'acide gras plasmatique : comme vu précédemment, la libération est plus importante lorsque l'insulinémie est faible et que le taux de catécholamine plasmatique est élevé.

Lorsque l'effort dure plus de 30 minutes, à une intensité à 50% de la  $VO_2max$ , l'insuline plasmatique diminue, les catécholamines augmentent et libèrent les acides gras des triglycérides stockés : la quantité d'acide gras libéré est multiplié par 3 à 6 entre la phase de repos et la phase d'effort. Les acides gras fournis par les muscles représentent jusqu'à 45% de l'énergie. L'oxydation des acides gras atteint son maximum pour une  $VO_2max$  de 40%.

L'entraînement présente un intérêt dans la réponse de l'organisme à l'insuline : L'insuline baisse plus rapidement pour un entraînement régulier prolongé à intensité modérée. Cela accélère alors le processus de libération des AG dans le sang, pour une prise en charge plus rapide et une production énergétique à la hausse. Le phénomène d'oxydation intervient plus rapidement car les capacités respiratoires sont plus développées, apportant davantage d'oxygène consommé par les mitochondries (présent en plus grand nombre)

### 7.2.2. Parcours des acides gras

La triglycérides lipase dégrade les triglycérides adipocytaires en un glycérol et trois acides gras dans le compartiment sanguin. La capacité à dégrader les acides gras dépend de l'intensité de l'exercice : plus celui-ci est intense, plus cette capacité est faible (70% au repos, on descend à 25% pour une  $VO_2max$  de 40%, puis 0% pour un effort ayant une  $VO_2max$  de 70%). Une diminution de l'insuline augmente l'activation des lipases : plus l'exercice est prolongé, plus les taux d'insuline sont faibles, assurant un taux important d'acide gras.

Certains ergogènes agissent sur le métabolisme lipidique :

- La caféine, active les lipases, stimulant la libération d'acide gras dans le sang. Elle retarde l'arrivée de la fatigue, en facilitant l'accès à l'énergie par l'apport d'acides gras. Ce stimulant est considéré comme dopant en compétition au-delà  $1,2\mu g.mL^{-1}$  d'urine.
- La L-Carnitine facilite l'entrée des acides gras dans les mitochondries, où elles sont oxydées. Cependant, elle n'accélère pas les systèmes de transport des acides gras. Elle est considérée comme un « brûleur de graisse ».
- La taurine ne présente pas d'effet sur la lipolyse, malgré son allégation « brûleur de graisse ». Elle assure une meilleure digestion et assimilation des graisses par son incorporation dans les sécrétions biliaires.

Les triglycérides sont la forme de stockage principale des lipides, au niveau adipocytaire, la densité énergétique qu'ils contiennent est de l'ordre de 7kcal/g (ou 29kJ.g). Un individu sédentaire, présente des réserves lipidiques de l'ordre de 20 à 35% chez la femme et de 10 à 20% chez l'homme. Pour un sportif, ces chiffres tombent à 15 à 25% chez la femme et 5 à 15% chez l'homme. Les enzymes de dégradation lipidiques ont une activité réduite, selon le contexte physiopathologique (régime, diabète, etc ...).

On prend en compte le délai d'action du métabolisme lipidique, le temps de libération, de transport, d'oxydation des lipides, soit un délai de 10 à 20 minutes avant que la bascule puisse être faite entre métabolisme glucidique et métabolisme lipidique. Durant ce laps de temps, si la glycémie se trouve abaissée, la néoglucogenèse et la lipolyse sont stimulés. Si en revanche, un apport glucidique a lieu durant cette période, le taux en insuline diminue plus lentement, et donc le glucose conserve sa place prédominante dans le métabolisme, réduisant alors la dégradation des acides gras : un apport de glucose reporte la lipolyse.

### 7.2.3. Les besoins lipidiques :

D'un point de vue quantitatif, il y a peu d'impact sur la performance à l'entraînement ou en compétition, que ce soit juste avant la pratique ou pour un régime alimentaire sur plusieurs semaines. Les lipides représentent 20 à 30% de l'alimentation quotidienne pour le sportif d'endurance (contre 30 à 35% habituellement). Consommer des glucides avec les lipides augmente légèrement la capacité d'oxydation des composés gras, cependant il n'y a pas d'effets sur la performance, ceci car la tolérance gastro-intestinale limite l'accès aux acides gras alimentaire pour la production d'énergie.

D'un point de vue qualité des acides gras, les acides gras poly-insaturés « n-6 » présentent un fort intérêt car elles renforcent l'érythrocyte en améliorant la déformabilité membranaire. Pour les « omégas 3 », on compte l'acide eicosapentaénoïque (EPA) qui inhibe la production de thromboxane A2 et stimule la production de la prostaglandine I3 (PGI3), réduisant la vasoconstriction. Cependant des quantités trop importantes de PGI3 réduisent les capacités du système immunitaire et fragilisent les membranes cellulaires. Il est primordial d'apportés ces lipides par l'alimentation, que sont l'acide linoléique et l'acide alpha-linolénique, à hauteur de 1% des apports énergétiques totaux (soit 4 à 6g.j). Les lipides membranaires sont continuellement soumis à l'oxydation de radicaux libres oxydant lors

d'efforts physiques, accroissant le risque de lésions cellulaires et donc de blessure. La consommation d'huile végétale (colza, olive, soja, ...) et de poissons gras (sardine, thon, ...) est fortement recommandée. Pour finir les apports en AGPI n-3 et n-6 doivent être de 10g/jour d'acide linoléique et 2g/jour pour l'acide alpha-linolénique chez le sportif. Ces valeurs sont très rarement atteintes pour des apports de 1800 kcal.jour<sup>-1</sup> : cela pose la question d'une alimentation suffisante et éventuellement la place des compléments alimentaires.

### 7.3. La place des glucides :

#### 7.3.1. Le métabolisme glucidique lors de l'effort :

Lors d'une séance de sport, l'oxydation est dirigée dans un premier temps vers les glucides, ensuite les acides gras prennent le relais. Le « quotient respiratoire » donne une appréciation sur les substrats subissant l'oxydation au cours d'un effort, celui-ci diminue durant une séance d'effort modéré, atteignant une valeur de 0,8 au bout de plusieurs minutes. Pour des efforts d'intensité similaire, les glucides participent moins à la re-synthèse de l'ATP chez un athlète entraîné que chez un individu normal. Cette re-synthèse d'ATP par les glucides représente plus de 50% de la dépense énergétique. Cette valeur augmente pour des puissances d'effort proche de la PMA, du fait de la mise en place de la voie anaérobie lactique.

Une diminution du glycogène musculaire est liée à la fatigue musculaire et son ressenti. Ce phénomène se traduit différemment selon le type d'effort : dans le cadre d'un marathon, si l'athlète gère mal son allure, il risque de ressentir de fortes douleurs dans les quadriceps, obligeant à réduire son allure : les réserves en glycogènes musculaires sont épuisées pour les fibres de type 1 et de type 2A. Il existe une relation linéaire entre le délai d'épuisement d'un effort de 60 à 80% de VO<sub>2</sub>max et les réserves musculaires en glycogènes. Ces réserves dépendent du régime alimentaire, elles sont plus importantes pour un régime hyperglucidique (les glucides sont apportés à hauteur de 15 à 40g de glucide par kg, soit plus de 65% des apports énergétiques totaux), tandis que pour un régime riche en lipide, les réserves glucidiques sont moins importantes (soit 8 à 10g de glucide par kg de poids corporel).

Après l'effort, l'organisme met en place un processus de régénération des réserves musculaires en glycogène. Ce phénomène est d'autant plus important et rapide avec l'apport d'un régime riche en glucide. Apparaît le phénomène de « surcompensation » : le niveau de glucide est plus élevé que le niveau d'origine, ceci 1 à 2 jours après l'effort. La rapidité de mise

en action du phénomène dépend du taux de glucose intracellulaire : la capacité de transport est limitante. Celui-ci est réduit, il ne s'accumule pas sous forme libre : il requiert une glycémie suffisante, une perméabilité membranaire ainsi qu'un transporteur adéquat : le transporteur GLUT, il subit une translocation du cytoplasme vers la membrane sarcoplasmique. L'insuline accélère jusqu'à 8 fois la vitesse de resynthèse du glycogène musculaire.

### 7.3.2. Les glucides provenant de l'alimentation :

L'objectif est de recharger les stocks en glycogène musculaire et hépatique rapidement. Tout en réduisant le stockage sous forme d'acide gras, éviter la phase d'hypoglycémie ainsi que de prévenir les troubles digestifs éventuel dû à l'ingestion de certains glucides.

Les réserves glucidiques sont régénérées proportionnellement à la quantité de glucides apportée. En dessous de 250g de glucides les réserves ne sont pas comblées, les apports sont orientés vers les organes qui en ont impérativement besoin, tel que le cerveau. Pour une quantité de 250 à 500g par jour, le taux de remplissage des réserves glucidiques augmente de façon croissante. Au-delà de 600g, les réserves sont intégralement reformées. Les glucides en excès sont oxydés ou stockés sous forme lipidique au sein des muscles. Toutefois, s'il n'y a pas d'effort physique, le stockage répétitif de glucide conduit à l'obésité. Pour un sportif ayant un entraînement quotidien de 2h et une alimentation constituée à 40% de glucides, la régénération des réserves glucidiques est faible et la fatigue est de plus en plus précoce lors de l'effort. Si les glucides montent à 70% des apports énergétiques journaliers, le niveau d'entraînement est maintenu, sans développer de fatigue lors des séances.

On prête attention au moment de prise lors de la consommation de glucide, ainsi que la qualité de ces glucides : cela débouche sur le principe d'index glycémique. Dans le cadre d'une prise de glucide après une nuit de jeûne et une activité physique une heure après l'alimentation, la réponse glycémique est élevée ainsi que la réponse insulinique, augmentant le risque d'hypoglycémie et de malaise. En revanche, pour une prise glucidique régulière dans les heures en amont de l'effort, le phénomène d'hypoglycémie est moindre. La proportion d'aliments à glucides complexes et IG faible à modéré est élevée quand on est plusieurs heures avant l'effort, cela représentant 50 à 70% des apports énergétiques nécessaire. Lorsque l'épreuve physique s'approche, ou même durant l'épreuve, les glucides simples à index

glycémique important sont les plus intéressants, représentant alors 70 à 90% des AETQ : les apports glucidiques doivent donc être de 5 à 12g.kg<sup>-1</sup> selon l'effort physique et son intensité de prévu.

Dans le cadre d'une préparation physique quelques jours avant une échéance sportive, certains régimes présentent un fort intérêt. Le régime dissocié « scandinave », réservé au sportif de haut niveau, a pour but de générer des réserves en glycogène importantes. Son déroulement est rapide, après une séance d'entraînement très énergivore, le régime a lieu pendant la semaine suivante : les trois premiers jours sont représentés par un régime hyperlipidoprotidique (soit 80% des AETQ), tout en maintenant un entraînement léger, s'en suit trois jours de régime hyperglucidique (soit 70% de glucides, majoritairement complexe à index glycémique bas). Ce régime est destiné uniquement aux sportifs, avec un suivi médical, du fait des troubles induits par la première phase : acidocétose et déficit glucidique, la solution est le régime dissocié modifié où les trois premiers jours comportent un régime normoglucidique (40 à 50 % de glucides). Les deux régimes présentent des résultats similaires, le deuxième est plus intéressant du fait de ses effets indésirables moins importants.

En amont de l'épreuve physique, il est conseillé d'avoir un apport glucidique important, via un plat riche en glucides à IG faible ou modéré, afin de combler les réserves en glycogènes. Cet apport doit être proportionnelle à l'épreuve à venir, que ce soit l'intensité ou la longueur : en général il est nécessaire de consommer 150 à 500g de glucides (poids sec). Une alternative est possible, si le sujet préfère consommer des glucides à index glycémique élevé il peut faire plusieurs repas répartis toutes les trois heures en amont du rendez-vous sportif, avec un dernier repas trois heures avant l'effort, afin d'avoir des réserves glucidiques complètes. Ensuite, il y a les « rations d'attente » toutes les heures, composé de glucide à index glycémique élevé et de glucide simple, permettant de maintenir un taux d'insuline constant, sans excès et ne pas déboucher sur une hypoglycémie. Cela permet la conservation des réserves hépatiques intacte.

La dernière étape avant l'effort est une boisson glucosée, une dizaine de minute avant le départ, assurant une hydratation optimale, ainsi qu'un apport de glucose maintenant les réserves hépatiques intactes. L'échauffement avant l'exercice met en marche la machinerie musculaire, activant les transporteurs du glucose, consommant les glucides apportés juste avant l'effort en priorité (avant que le taux d'insuline augmente). Les cas d'hypoglycémie

précoce lors de l'effort est causé par une erreur dans le protocole cité précédemment (délai entre les prises inadapté, portions inadaptés, ...) ou pour des sujets plus sensibles à l'insuline, l'alternative est une boisson au fructose de 30g.L<sup>-1</sup> (le fructose est moins insulinosécréteur).

Lors de l'épreuve, l'idéal est de consommer des substrats énergétiques sans toucher aux réserves énergétiques immédiatement ainsi que de protéger l'intégrité musculaire du sportif (en économisant les acides aminés), tout en pensant également à l'hydratation de l'individu. Avec la collation prise avant/pendant l'effort, l'apport de glucides épargne les réserves glucidiques musculaires et hépatiques. Dans le cadre d'épreuves prolongées, à intensité importante, et dans des conditions météorologiques chaudes, la prise de boisson et l'apport d'eau est impératif afin de pouvoir performer, ainsi que de réduire le risque de blessure. Pour que les apports en eau soit optimale, il faut prendre en compte plusieurs conditions, que sont : la préhension manuelle, c'est-à-dire boire une boisson agréable à boire, ceci en amont de la sensation de soif (car celle-ci est tardive à apparaître). Il est important de boire régulièrement et avant l'arrivée de la soif, car une fois celle-ci arrivée indique la fatigue et un essoufflement, ce qui réduit la prise d'eau. De plus l'acceptabilité de la boisson est importante, une boisson ayant des propriétés organoleptiques non attirante peut répugner l'athlète à la boire, et conduit à l'état de déshydratation causé par les pertes hydriques sudorales et expiratoires. L'autre facteur est le temps de vidange gastrique, car la biodisponibilité de tous les éléments apportés en dépend, cette vitesse de vidange dépend du type de glucide, l'osmolarité, la quantité de boisson consommées, la densité énergétique contenue, la présence d'électrolytes et de particule, la température de la boisson, le degré de déshydratation du coureur, la température de l'organisme, l'intensité de l'effort et le niveau de stress du sportif.

Comme cité dans le paragraphe précédent, la boisson à consommer lors de l'effort présente une importance dans sa quantité et sa composition. Le mélange glucidique présentant la meilleure efficacité est une association de glucose, fructose et/ou saccharose. La vidange gastrique est mieux assurée pour des solutions iso ou hypotonique au plasma sanguin : cette vidange assurée, atteste d'une bonne réhydratation face aux pertes sudorales. Tandis que pour des solutions hypertoniques, l'apport glucidique est plus important, mais la vidange gastrique est ralentie et donc l'hydratation en est impactée, traduit par une diminution de la performance, un risque de crampes accru et des troubles digestifs. Pour une

solution isotonique, on estime que l'on peut aller à plus de  $100\text{g.L}^{-1}$  de glucide (maltose et polymère de glucose). Au-delà de ce seuil de  $100\text{g.L}^{-1}$ , la vidange gastrique diminue, et la densité énergétique ne s'avère pas pertinente. Finalement, le plus intéressant est de prendre des boissons isotoniques composés de  $30$  à  $80\text{g.L}^{-1}$  de mono-saccharides et de  $40$  à  $180\text{g.L}^{-1}$  de poly-saccharides : les mélanges glucidiques dans la boisson présentent une meilleure efficacité qu'un seul type de glucide. Il est intéressant d'avoir des glucides à petite taille particulière, afin d'avoir une vidange gastrique normale (la vitesse est ralentie au-delà de  $2\text{nm}$ ). Il ne faut, en aucun cas mettre de lipides dans ces boissons, car ils ralentissent la vidange gastrique. A contrario, les électrolytes présentent un énorme intérêt, afin de reformer les composés éliminés par les pertes sudorales, de plus ils agissent sur l'osmolarité de la boisson et sur l'absorption d'eau directement. Le sodium facilite l'absorption d'eau, mais aussi de glucose. Pour conclure sur la boisson d'effort, la prise régulière lors d'un effort de plus d'une heure est primordiale pour le bon fonctionnement physiologique :  $150$  à  $300\text{mL}$  de boisson toutes les  $15$  à  $30$  minutes sont nécessaires pour compenser les pertes hydriques, mais également avoir un supplément glucidique ( $30$  à  $100\text{g.L}$ ) de sels minéraux et nutriments. Il faut avoir en tête alors que des apports réguliers de glucides lors de l'effort permet d'être performant lors de l'épreuve, cependant la lipolyse est réduite : il faut faire un choix entre la forme ou la performance. Dans le cadre d'efforts plus long, des adaptations sont nécessaires, la boisson ne suffit plus au-delà de  $3$  heures, d'où l'intervention des collations solides à base de glucide complexe à index glycémique très élevé et de protéines. Au-delà de  $5$  heures d'effort, il est nécessaire de fractionner les apports en petits repas de glucides simples et complexes ainsi que de protéines.

Après l'épreuve, la priorité est de reformer les réserves en glycogène musculaire, la vitesse de resynthèse dépend de la capacité à se ré-entraîner rapidement ou de refaire une compétition rapidement. Cela nécessite une capacité à capter rapidement le glucose apporté. Juste après l'exercice, le glucose est plus efficace pour régénérer le glycogène musculaire, ceci par rapport au fructose (le glucose est mieux capté par le muscle et le fructose par le foie). La régénération est plus efficace lors d'apport de mélange glucidique, sans doute car la capacité du foie à prioriser le fructose permet d'apporter davantage de glucose vers les muscles. Une à deux heures après la fin de l'épreuve, l'introduction de glucides solide ajoute un renforcement du processus de resynthèse, à renouveler toutes les deux heures pendant six

heures. Dans les jours après l'effort, la prise de féculents ou céréales (index glycémique faible ou modéré) continue la resynthèse des réserves (l'amidon possède une capacité à maintenir une insulïnémie élevée prolongée).

#### 7.4. La place des fibres alimentaires :

Des apports réguliers de fibres alimentaire sont nécessaires au sein d'une alimentation diversifié et complète, pour assurer un transit digestif performant. Tout en respectant les quantités de 25 à 35g de fibres par jour. En cas d'excès, on s'expose à des troubles digestifs divers, causé par l'irritation de la pratique sportive, et l'ischémie provoqué régulièrement lors d'exercice prolongé.

#### 7.5. Eau et pratique sportive :

##### 7.5.1. La déshydratation lors de l'effort :

Lors de la pratique d'un exercice physique, on observe des pertes hydriques non négligeables. Ces pertes en eau ont lieu selon diverses voies :

- La voie respiratoire : accru lors de l'effort. Elle dépend des niveaux de dépenses énergétiques et donc du débit respiratoire, ainsi que des variations de pression entre la pression de la vapeur d'eau et l'air expiré saturé en eau.
- La voie urinaire : l'activité physique stimule la libération d'hormones, afin de favoriser l'épargne de composé hydrosodé au niveau rénal. La baisse du débit urinaire dépend du débit de filtration glomérulaire (vasoconstriction des voies urinaires lié à l'activité), la baisse est plus importante s'il y a une déshydratation antérieure.
- La voie cutanée représente la majorité des pertes, entre 70 et 80% des pertes en eau. Plus l'exercice est prolongé, plus les pertes hydrominérales sont importantes.

La déshydratation se traduit sur la performance par une altération de l'endurance maximale aérobie, proportionnellement au niveau de déshydratation. Elle impacte la régulation cardiovasculaire et thermique : le compartiment sanguin est réduit du fait de l'élimination hydrique par voie sudorale et l'osmolarité augmente. Cette baisse du volume plasmatique entraîne une élévation de la fréquence cardiaque. Le phénomène de compensation est plus compliqué à mettre en place chez un sujet déshydraté. Dans cette situation, la durée maximale d'activité se trouve fortement réduite car l'organisme est poussé

dans ses retranchements. La température corporelle est élevée proportionnellement à l'état de déshydratation : le débit sanguin et de sudation est impacté, le transfert calorique des muscles vers la peau se trouve réduit.

Si l'état de déshydratation dépasse 4% du poids corporel, le risque est important, et peut conduire à des accidents mortel tel qu'un « coup de chaud » (élévation de la température corporel de façon excessive) se traduisant par une perte de connaissance, hyperthermie, dysesthésie des extrémités et démarche ébrieuse, pouvant même aller jusqu'à des lésions tissulaires type rhabdomyolyse, ou des atteintes hépatiques ou rénales ou des atteintes du système nerveux centrale : c'est une urgence vitale absolue. Si cela arrive, la procédure commence par un arrêt de l'effort, mise à l'ombre, déshabillement, asperger le sportif d'eau et ventilation afin de faire chuter la température. On ajoute une réhydratation hydrosaline à démarrer le plus tôt possible, et une évacuation vers un service d'urgence.

Dans le cadre de certains sports, ceux ayant comme caractéristique le poids (judo, boxe, ...) une mauvaise manipulation du poids et un état d'hydratation non équilibré peuvent être préjudiciables et entrainer une contre-performance, ou même une blessure.

#### 7.5.2. Une réhydratation efficace :

Cela se passe en trois étapes : tout d'abord l'acte de boire (spontané ou forcé), s'en suit la phase gastrique puis la phase d'absorption intestinale. Il ne faut surtout pas suivre la soif, la sensation de besoin d'eau arrive tardivement, alors que l'athlète est déjà déshydraté à 1% de son poids corporel. De plus cette sensation ne permet que de compenser partiellement les pertes en eau, le sportif doit boire plus que ce qu'il ressent nécessaire.

L'étape de la vidange gastrique est primordiale, elle dépend du volume de boisson prise, qui vient agir sur la distension des parois de l'estomac. On prend en compte la composition du liquide (sa densité énergétique). Le temps de vidange est plus faible pour une préparation à forte densité énergétique. Et selon l'intensité de l'exercice, pour un effort d'intensité supérieur à 70% de la  $VO_2$  max, la vidange se trouve diminuée.

Comme vu précédemment, les boissons isotoniques ou hypotoniques sont mieux absorbées par le tube digestif, au contraire des boissons hypertoniques. L'eau absorbé passe rapidement dans le compartiment plasmatique et régule l'hyperosmolarité, maintenant une fréquence cardiaque bonne pour l'organisme, ainsi qu'une température décente, lié à la

déshydratation. Plus on restaure le déficit hydrique créé, plus vite le volume plasmatique est à l'équilibre, créant un contexte favorable à la performance.

### 7.5.3. Recommandations pour bien hydrater un sportif :

Plusieurs astuces permettent d'optimiser cette étape impérative à la performance sportive :

- Faire une pesée avant et après l'effort, afin d'estimer les quantités de pertes hydriques et adapter les apports pour les fois prochaines. On est capable de déceler une déshydratation chronique (perte de poids rapide inexplicée).
- Consommer des boissons appropriées à l'effort physique entrepris, avant l'effort, pendant et après. S'hydrater avant que vienne la sensation de soif.
- Boire des volumes d'eau importants, tout en connaissant ses limites, par rapport à l'activité. Il est important d'adapter les quantités et volumes à la durée de l'épreuve (ceci peut être calculé par la perte de poids corporel).
  - o Dans le cas d'effort durant de 1 à 3 heures :  $1,5L.h^{-1}$  (en fonction de l'intensité et des conditions climatiques)
  - o Au-delà de 3 heures :  $0,5$  à  $1 L.h^{-1}$

## 7.6. Minéraux et sels minéraux :

### 7.6.1. Sodium, Chlore et Potassium :

#### 7.6.1.1. *L'apport en NaCl*

Les ions sodiques et chlorures sont indispensables au fonctionnement du muscle et de la contraction. Les apports conseillés chez un individu sédentaire, à température ambiante, est de 1 à 2g/j de NaCl, cependant ses pertes sudorales sont faibles, contrairement au sportif qui élimine des électrolytes lors d'une pratique physique. Divers cas sont possibles :

- Chez un sujet qui s'entraîne modérément, ayant 2 à 3 efforts d'une heure par semaines, avec une perte sudorale de 0,5 à 1L, faisant 1,8 à 3,6g de perte en NaCl. Soit une perte non négligeable et donc la compensation n'est pas nécessaire.

- Pour un sujet très entraîné, avec une activité régulière de 1 à 3 heures tous les jours, pour une perte en eau de 2L ou plus, cela représente 6 à 7g de NaCl éliminé, il faut donc faire une compensation à hauteur de 1,2g/L au maximum.
- Chez un sujet habitué à l'effort à des températures élevées, les pertes sont supérieures à 4L d'eau par jour, soit plus de 6 à 7g de NaCl, soit toujours un apport de 1,2g/L.

Un ajout de NaCl à la boisson de l'effort n'a pas de réel impact sur la performance. Cela n'a pas d'effet sur l'absorption de l'eau au niveau digestif, mais limite une baisse du volume plasmatique lors de l'effort et favorise la rétention du volume liquidien extracellulaire. Il est impératif d'apporter du NaCl pour ne pas voir d'hyponatrémie (natrémie inférieure à 1030 mmol.L<sup>-1</sup>), pouvant conduire à une urgence médicale absolue (trouble neurologique, coma, ...). Pour éviter cela, il faut un apport de NaCl dans la boisson, à hauteur de 1,2g.L<sup>-1</sup>. Il n'est pas recommandé de faire ces apports sous forme de comprimé ou dragées, au risque d'aggraver l'état de déshydratation et de perturber le transit.

L'objectif de la récupération est de vite reformer les réserves, surtout si un nouvel effort arrive. Pour cela, la boisson de récupération contient 2 types de sels de sodium : du NaCl à hauteur de 25mmol.L et un autre sel de sodium contenant 25 mmol.L (citrate ou acétate de sodium).

#### 7.6.1.2. *Le potassium :*

Les carences en potassium sont rares, et les besoins quotidiens sont faibles. Le potassium est éliminé par voie urinaire chez le patient sédentaire, et les autres voies d'élimination (fécale et sudorale) sont minimales. Chez le sportif, les pertes sont négligeables (de l'ordre de 0,3 à 0,5g) et un apport ne présente aucun intérêt, l'alimentation quotidienne suffit aux apports potassiques.

Tandis que chez le sportif pratiquant une activité physique plus intense et dans des conditions chaudes, les pertes urinaires et sudorales sont à prendre en compte. Cela représente des pertes de 1 à 2g/j. Une valeur nutritionnelle pour ce minéral est conditionnée selon l'apport en sodium. L'apport est réalisé via un sel de potassium au sein de la boisson à une concentration de 0,4g/L. Pour un athlète de force, cherchant à accroître sa masse musculaire, il faut apporter suffisamment de potassium, soit 1 mmol de K<sup>+</sup> par gramme de protéines ingérés : 0,07 à 0,11gramme par kg de protéines par jour.

Une alimentation équilibrée quotidienne répond aux besoins en sodium, chlore et potassium. La prise de boisson intervient dans cet équilibre, et restaure les réserves consommées lors d'un effort

#### 7.6.2. La place du fer dans l'alimentation :

##### 7.6.2.1. *Le fer dans la pratique sportive :*

Prépondérant dans le fonctionnement physiologique, du fait de son importance dans le transport de l'oxygène. On prend en compte le caractère sexuel de l'individu, chez un homme les recommandations en fer sont similaires entre le sédentaire et le sportif. Tandis que chez les femmes, population souvent carencée en fer, cela est plus ou moins marqué dans certaines disciplines sportives (course à pied, handball, ...).

On retrouve tout de même des déficiences liées au fer chez certains sportifs masculins : une baisse de la ferritine est observée dans les pratiques mobilisant les muscles à contraction excentrique, on observe une augmentation de l'absorption intestinale du fer, et des stocks en fer amoindri dans le foie et la moelle osseuse. L'inconvénient est que la pratique régulière de sport cache les carences, l'état inflammatoire régulier provoqué par la pratique sportive produit des protéines de l'inflammation dont la ferritine fait partie. On doit donc se pencher sur un autre indicateur afin de déceler des carences ferriques chez le sportif, le récepteur sérique soluble de la transferrine (ST Fr) semble tout indiqué à cela.

##### 7.6.2.2. *Les origines des pertes en fer :*

Il peut y avoir des pertes digestives, cela à cause de saignement locaux, de gastrite ou d'hématémèse. Les pertes sont estimées à 3 à 5mg de fer par jour au niveau gastro-intestinales. La prise de certains médicaments (aspirine et autre AINS) amplifie ces phénomènes et aggravent les pertes, d'où la nécessité de sensibiliser les patients à l'officine.

Le métabolisme accéléré du fer est à l'origine de perte de fer au niveau urinaire, ou par hématuries dû aux microlésions causées par la pratique sportive. Le fer retrouvé dans les urines provient d'une hémolyse intravasculaire causé par l'effort physique. Les pertes urinaires sont relativement limitées (sauf si contexte pathologique). Le niveau de fer dans les gouttes de sueur est variable selon l'intensité de l'exercice, les pertes sudorales en fer sont augmentées en cas de supplémentation ferrique. Cependant, lorsque les pertes en fer sont accrues, le taux d'absorption intestinale du fer se trouve revu à la hausse également.

### 7.6.2.3. *Les recommandations d'apports du fer :*

Les recommandations de l'ANSES sont établies à hauteur de 11mg/jour de fer chez l'homme et la femme menstruée, voir 16mg/jour chez les femmes ayant des pertes menstruelles importantes. Seulement une partie du fer ingéré est absorbé au niveau digestif, soit 1,65mg du fer est absorbé et disponible pour un apport de 11mg, cela pour une alimentation équilibrée et diversifiée (biodisponibilité plus importante pour le fer des viandes et poissons que pour les céréales).

Il est intéressant de supplémenter temporairement un individu déficient en fer, à hauteur de 100mg/jour de fer ferreux, avec suivi médical, prise de sang et dosage du fer. Tandis que pour un sujet non carencé en fer, une supplémentation présente peu d'intérêt. Une alimentation équilibrée apporte les quantités de fer nécessaires (50mg/jour pour une prise de 170 à 255g/jour de viande de bœuf). Une prise de 100 à 300mg/j permet d'accroître la ferritinémie, mais aucun impact sur la performance physique n'est observé face à cette supplémentation. Une supplémentation sans raison expose l'athlète à des risques accru d'infarctus du myocarde ou de cancer (cela dû à l'effet pro-oxydant lors de la prise concomitante avec la vitamine C).

### 7.6.3. Le calcium :

Le cas du calcium est particulier, car indispensable à l'organisme via la minéralisation osseuse. Cette composante est variable selon le sexe (ostéoporose chez la femme). Des déficits calciques sont retrouvés chez les femmes pratiquant le marathon, associés à l'anorexie et des dysménorrhées. La prise en charge se fait par une adaptation de la nutrition, en visant les RNP soit 950mg de calcium par jour chez les plus de 24 ans.

### 7.6.4. Le magnésium :

Ce minéral intervient dans une grande quantité de systèmes enzymatiques, voies métaboliques et fonctions physiologique, dont la production énergétique. Une carence en magnésium est susceptible de se présenter par de la fatigue physique et/ou psychologique, d'où l'intérêt de suivre les RNP. L'ANSES recommande alors 420mg/jour de magnésium chez l'homme et 360mg/j chez la femme, afin de répondre aux besoins de l'organisme.

#### 7.6.5. Le zinc :

Majoritairement éliminé par voie fécale, une partie se retrouve dans la sueur, pouvant aller jusqu'à 5mg/jour en cas de volume sudorale élevé. Le zinc est faiblement éliminé par voie urinaire, allant de 0,3 à 0,6mg/jour, l'élimination est accrue en cas de protéinurie. Les processus inflammatoires induit par le sport, active la Super-Oxyde Dismutase, enzyme utilisant le zinc comme co-facteur, afin de lutter contre les processus oxydants. Le zinc est également impliqué dans la régulation du système immunitaire, important lors des lésions musculaires induit par la pratique physique.

##### 7.6.5.1. Variations au cours de l'effort :

Lors d'un exercice physique, une hémococoncentration a lieu et la sudation importante est à l'origine d'une élimination accrue du zinc et donc d'une nécessité d'apport. De plus, l'effort physique est à l'origine de la fabrication de composés oxydants (radicaux libres), entraînant une consommation de zinc par la SOD.

Lorsque l'on arrête l'effort, le taux de zinc plasmatique se trouve diminué, le taux est proportionnel à l'intensité et la durée de l'exercice. 3 jours de repos sont nécessaires pour régénérer les réserves. Lorsque le rythme des entraînements est diminué, la zincémie est augmentée. On observe qu'après un entraînement, il y a redistribution du zinc vers les érythrocytes plasmatiques (assurant un potentiel anti-oxydant important).

##### 7.6.5.2. Le zinc et son métabolisme

L'absorption du zinc est variable selon l'état physiopathologique du sujet, elle est faible si les apports sont élevés, et inversement en cas d'apport en faible quantité. Le zinc est stocké dans les muscles, mais également une partie est présente dans les os (réserve faiblement mobilisable). La biodisponibilité du zinc est variable selon l'aliment : la biodisponibilité diminue avec le taux en protéines animales des repas.

Les situations d'apports importants, dépassant les taux recommandés, sont souvent des situations où on observe des troubles digestifs, des vertiges, des nausées et des baisses de la fonction immunitaire. Des apports trop importants de zinc peuvent même perturber l'absorption du cuivre et d'autres nutriments. Les apports quotidiens de la population général suffisent, soit 2,5mg/jour pour les femmes et 3,6mg/jour chez les hommes suivant les apports riches en protéines (les taux augmentent lorsque l'alimentation est appauvrie en protéines

animales). Pour une alimentation variée, les taux sont de 6,5mg/jour et 9,4mg/jour chez la femme et l'homme, et on atteint des taux de 13,1 à 18,7mg/jour de zinc pour des régimes végétariens.

#### 7.6.6. Le sélénium :

Il a une action antioxydante, en agissant en tant que cofacteur de la glutathion peroxydase, neutralisant les peroxydes d'hydrogènes. Une carence en sélénium conduit à une baisse de l'activité des enzymes antioxydantes, au niveau musculaire et hépatique. Dans un cadre sportif, la production de composés oxydants est accrue, et nécessite donc une activité antioxydante accrue. Cependant, il n'y a pas de relation entre performance et une carence. Une supplémentation en sélénium n'est pas pertinente dans la recherche de performance, et sans effet sur la capacité antioxydante.

Les apports nutritionnels de base pour la population générale sont de 70µg/jour chez l'homme et 55µg/jour chez la femme. Lors de périodes d'entraînement, il existe une relation de redistribution du sélénium vers les enzymes antioxydante, cela nécessite d'augmenter les apports en sélénium lors de ces périodes d'entraînement intense. Les apports sont accrus, tout en étant proportionnelle à la dépense énergétique engendré par l'effort.

#### 7.6.7. Le cuivre :

Le cuivre est majoritairement éliminé par voie sudorale, et non par voie urinaire. Il faut prendre en compte dans les apports que les glucides à index glycémique élevé réduisent l'absorption intestinale du cuivre. Le niveau d'entraînement n'impacte pas les pertes. Les taux plasmatiques de cuivre augmentent après un effort, car il y a une redistribution dans les deux heures suivant l'effort. Ce phénomène est transitoire et sans effets néfastes sur l'organisme. Les apports hydrique et énergétiques suivant l'effort viennent compenser les pertes causées par l'effort, cela sans supplémentation. Il est à noter que les régimes végétariens apportent davantage de cuivre que des régimes non végétariens. Les recommandations sont situées à 1,3mg/jour chez l'homme et 1mg/jour chez la femme. On retrouve majoritairement le cuivre dans des aliments tels que les féculents, légumes secs et le foie, on trouve également des quantités non négligeables de cuivre dans les fruits et légumes.

#### 7.6.8. Le chrome

Ce nutriment est prépondérant dans la régulation de la glycémie, car c'est un composant de la *Glucose Tolerance Factor*, facteur fortement mobilisé lors de la pratique sportive. Il n'est pas nécessaire d'accroître les apports en chrome malgré des taux augmentés dans les urines. Il n'est pas nécessaire de supplémenter le sportif, les apports couvrent les besoins : ces besoins sont compris entre 50 et 70µg/jour.

#### 7.6.9. L'iode

Elle est éliminée par voie sudorale, proportionnellement au débit d'excrétion sudorale. L'iode est physiologiquement régulé selon l'élimination urinaire de cette dernière et est dépendante des apports alimentaires. On estime que les besoins s'élèvent à 150µg/jour chez l'adulte, cela étant les recommandations Européenne.

Pour répondre aux besoins, l'eau potable représente une très faible proportion, soit 5% des besoins en iodes. La majorité des apports se font via des aliments marins (poissons, crustacés, ...) à hauteur de 80 à 150µg pour 100g d'aliment. On compte également des traces d'iode dans les produits céréaliers, produits laitiers et œufs du fait de l'usage de désinfectant, conservateurs et colorants dans l'industrie agro-alimentaire. La dernière possibilité pour atteindre les seuils seront le sel iodé, à ajouter aux préparations.

#### 7.6.10. En conclusion :

Les pertes en oligo-éléments sont dépendantes des pertes sudorales et de leur augmentation au cours de l'effort. Il ne ressort pas de réel intérêt de supplémenter le sportif, étant donné que le régime alimentaire se doit de répondre aux besoins de l'organisme. La supplémentation peut présenter un intérêt dans les cas de carences chez les sportifs, ceci afin de revenir à des taux normaux, où les apports sont ensuite assurés par l'alimentation. La population sportive est relativement complexe à suivre, du fait de l'objectif de performance, les dépenses sont accrues et donc les besoins également, les comportements alimentaires sont spécifiques : afin de d'éviter ces carences, il est donc impératif d'avoir une alimentation adaptée, équilibrée et surtout diversifiée.

## 7.7. Les vitamines

### 7.7.1. Les différentes vitamines

#### 7.7.1.1. *La thiamine (vitamine B1)*

C'est une vitamine absorbée au niveau jéjunal, via un transport actif saturable, permettant d'avoir une absorption comprise entre 2 et 6mg/jour. En cas d'apport accru, une quantité supplémentaire peut être partiellement absorbée. Le pH du tube digestif est favorable à l'absorption de ce nutriment, à contrario, une prise de médicament perturbe l'absorption.

Elle est phosphorylée en thiamine triphosphate (TTP) au niveau hépatique, qui est également un lieu de stockage, tout comme les reins, les muscles et le système nerveux. Ces réserves sont évaluées à hauteur de 30mg pour un adulte. Elle exerce une fonction de « coenzyme » dans les mécanismes enzymatique lié au cycle de Krebs (transacétolisation et décarboxylation oxydative du pyruvate). Elle possède une fonction de neurotransmetteur, expliquant les désordres nerveux observé en cas de carence importante. Les carences en thiamine sont observées chez les dénutris et les alcooliques sévères, elle se caractérise par une anorexie progressive avec dénutrition, suivie une insuffisance cardiaque (tachycardie, œdème, IC, ...), des troubles neurologiques (trouble de la marche et parésie, pertes d'équilibres, etc ...) et des troubles psychiques (irritabilité, dépression).

Certains facteurs interviennent sur la biodisponibilité de cette vitamine, tel que les aliments contenant des thiaminases (thé, crucifères et certaines bactéries contenues dans les poissons cru). L'éthanol réduit l'absorption, de même que les médicaments anti-acides, perturbant le pH digestif et donc l'absorption. Les sportifs consommant de grande quantité de glucides font attention à leurs apports en thiamine et même l'accroissent, car le métabolisme glucidique consomme de grandes quantités de thiamine. Pour éviter une supplémentation, on privilégie les aliments glucidiques complexes, généralement riche en vitamine B1 tel que l'avoine. Les apports conseillés dépendent des apports caloriques, chez un homme adulte, pour 2200kcal apporté, il est conseillé d'apporter 1,5mg, et 1,2mg/jour chez la femme. L'apport minimum conseillé est de 1mg/jour.

#### 7.7.1.2. *La vitamine B2*

Appelé riboflavine, elle est sensible à la lumière et est stable à la chaleur. Son action se fait en tant que coenzymes dans les chaînes respiratoires et les réactions de

déshydrogénations. Elle est absorbée dans la partie proximale du tube digestif. On la retrouve dans les tissus musculaires, le tissu hépatique, et les tissus cardiaques et rénaux. La quantité contenue dans l'organisme est comprise entre 250 et 500mg. Il est très compliqué d'observer une carence en cette vitamine, ce sont généralement des signes non spécifiques : signe cutané (dermite séborrhéique sur l'aile du nez, chéilite, stomatite) et oculaire (sécheresse, opacité et hypervascularisation de la cornée). Certains groupes de personnes sont sujets aux carences : les femmes enceintes et allaitantes, les personnes âgées et les personnes consommant de l'éthanol ou des contraceptifs oraux.

Les apports conseillés sont de 1,8mg de riboflavine pour l'homme adulte et 1,5mg pour la femme. Présente majoritairement dans les produits laitiers (35% des apports), la viande, le poisson et les œufs (35%) et les fruits et légumes (17%), le pain, pommes de terre et céréales (4%). Il faut prendre en compte le régime alimentaire, le lait de vache par exemple, malgré le fait d'être un produit laitier, est peu riche en vitamine B2, cependant le fait d'être fréquemment consommé assure les apports réguliers en vitamine B2.

#### 7.7.1.3. *La vitamine B3*

Également appelé Niacine ou vitamine PP, elle a une importance en tant que coenzymes d'oxydoréduction impliqués dans la chaîne respiratoire, on les reconnaît sous le nom de NADP et NAD (Nicotinamide adénine dinucléotide phosphate et Nicotinamide adénine dinucléotide). Elle est retrouvée au sein de l'acide nicotinique et le nicotinamide. Il n'est pas impératif de l'apporter par l'alimentation du fait qu'elle puisse être synthétisée à partir d'acide aminé essentiel (le tryptophane).

On la retrouve dans la viande, sous forme de NAD et NADP, forme peu influencée par les diverses méthodes de transformation des aliments, elle est hydrolysée dans l'intestin pour être absorbée. Tandis que dans les céréales, on la retrouve sous forme osidique : la niacine, et est hydrolysée dans le tube digestif pour libérer 30% de nutriments absorbables. Les tissus de l'organisme utilisent l'acide nicotinique et le nicotinamide pour fabriquer du NAD et NADP afin de faire fonctionner le métabolisme énergétique. Le foie se sert du tryptophane non utilisé pour la synthèse protéique afin de produire ces coenzymes. Pour un individu ayant un régime alimentaire équilibré, la quasi-totalité de son tryptophane est consommée dans cette indication. Pour calculer les quantités, on estime que 60mg de tryptophane permettent de former 1 mg de nicotinamide, on calcule alors l'équivalent niacine à hauteur de 1/60 du

contenu alimentaire en tryptophane. On calcule les équivalent niacine à hauteur de 5mg équivalent niacine pour 1000kcal d'apport journaliers. Les RNP sont de 14mg équivalent niacine/jour chez l'homme et 11mg/jour chez la femme. Cela peut se faire par l'apport protéique, pour un individu consommant 70g de protéines, cela représente environ 980mg de tryptophane, soit 16,3 mg équivalent niacine, dépassant les valeurs. Il faut faire attention à ne pas surcharger les apports, car cette vitamine est toxique pour de nombreux organes, notamment le foie, si la dose est supérieure à 750mg. En cas de carence en niacine, se développe une maladie carencielle nommée la pellagre.

#### 7.7.1.4. *La vitamine B5*

Connu sous le nom d'acide pantothénique, produite exclusivement par les plantes et les micro-organismes. C'est un constituant d'un élément essentiel du métabolisme énergétique : le coenzyme A. Cette vitamine est présente au sein des érythrocytes, les tissus utilisent l'acide pantothénique libre et forme alors le CoA à l'aide de cystéine. La phosphopantéthéine, résidu du catabolisme du coenzyme A, peut être utilisé afin de reformer la vitamine B5 consommé.

On la trouve principalement dans les produits protéinés (viandes, œuf, poisson, ...) et est sensible à la chaleur et est entraîné par l'eau de cuisson. Les apports conseillés pour l'homme adulte sont situés à 5,8mg/jour et 4.7mg/jour chez la femme. Sa biodisponibilité digestive est évaluée à 50%. Il est rare de voir des carences en cette vitamine, car très présente dans l'alimentation régulière. Une carence se remarque par des troubles neuromoteurs, de l'asthénie, des douleurs et sensation de brûlure aux extrémités, des faiblesses musculaires.

#### 7.7.1.5. *La vitamine B6 :*

On rattache divers composés à cette vitamine : le pyridoxal (PL), la pyridoxamine (PM), la pyridoxine (PN) et les dérivés phosphorylés (pyridoxal 5'-phosphate, la pyridoxamine5'-phosphate, la pyridoxine5'-phosphate). On retrouve la PLP et la PMP dans les tissus animaux et la PN dans les tissus végétaux. Le tube digestif l'absorbe par un mécanisme de diffusion passive non saturable : sa biodisponibilité s'élève à 70 à 80%. Cette vitamine agit dans le métabolisme des acides aminés, en tant que coenzymes enzymatiques (aminotransférases, décarboxylases, ...).

Les signes carenciels sont aspécifiques, rendant la carence difficile à déceler. L'apport en vitamine B6 est dépendant de l'apport protéique. Des apports protéique accru entraîne une rétention de la vitamine B6 afin de l'utiliser dans le métabolisme et donc une forme libre dans le compartiment sanguin plus faible. On conseil chez l'homme, la consommation de 1,8mg de vitamine B6 par jour et 1,5mg/jour chez les femmes. Des risques de troubles neurologies et mnésiques (neuropathie, mettant 6 mois à disparaître à l'arrêt) sont possibles en cas de surcharge importante et prolongé : pour des doses de plus de 50mg/jour.

#### 7.7.1.6. *Vitamine B8 :*

Vitamine très importante, provenant de l'alimentation, mais également des bactéries saprophytes du tube digestif. Connue sous le nom de biotine. Présente dans l'alimentation dans le foie (100µg de vitB8 pour 100g de foie), et dans les fruits et la viande (à hauteur de 1µg pour 100g). Il y a un phénomène de recyclage de la biotine, expliquant les faibles réserves. Sa fonction est primordiale, car intervient dans métabolisme énergétique, en tant que coenzyme de la pyruvate carboxylase, propionyl CoA carboxylase, béta-méthycrotonyl carboxylase et de l'acétyl CoA carboxylase. Les situations de carences sont rares, traduite par une cétose (du fait de la diminution de la néoglucogénèse et de l'accumulation de lactate, de pyruvate et d'alanine, tout en diminuant la lipogénèse, accumulant l'acétyl CoA : diminution de la synthèse protéique). Les apports conseillés sont de 50µg/jour chez l'homme et la femme.

#### 7.7.1.7. *La vitamine B9 :*

L'acide folique, contenu dans les folates, subit une réduction par la dihydrofolate réductase. Cette vitamine est sensible à l'air, à la lumière et la chaleur (détruite lorsqu'elle est portée à ébullition). Sa biodisponibilité est comprise entre 60 et 98%, avec une absorption au niveau jéjunal, puis être transporté dans le compartiment sanguin pour être excrété dans la bile puis réabsorbé : ce cycle entérohépatique est une étape impérative pour la bonne distribution des folates. Elles sont stockées dans le foie, cela représente 50% des réserves de l'organisme. Le reste est exclusivement contenu dans les globules rouges, et n'est récupérables qu'en dégradant ces derniers. Elle participe dans le métabolisme des acides aminés (synthèse de méthionine notamment). Du fait de son importance dans la synthèse de l'ADN et de l'ARN, une carence en cette vitamine est à un ralentissement du processus de mitose et donc des troubles sur la ligné érythrocytaire, de l'immunité et de l'absorption

intestinale. Elle est également importante dans le développement du système nerveux et dans la synthèse de neuromédiateur.

Attention, si les taux sont inférieurs à 100µg/L, on considère cela comme une carence importante, impactant la lignée rouge. Ces carences sont causées par un défaut d'apport alimentaire ou des besoins augmentés : le plus généralement lors des grossesses, mais également en cas de régime hypocaloriques non équilibré, en cas de pathologies hémorragiques chroniques, consommation d'aspirine ou d'antiépileptique. On retrouve le plus de folates dans la salade verte, les châtaignes, noix et amandes ou dans le pâté de foie (100 à 200µg pour 100g) mais aussi dans les légumes verts, maïs, petit pois, pois chiche, melon, œufs et fromages fermentés (50 à 100µg pour 100g). Les RNP pour cette vitamine sont de 330µg/jour chez l'adulte.

Chez les grands consommateurs de produits carnés, une élévation d'apports en vitamine B9 est intéressante, cela face à l'homocystinémie (qui accroît le risque de maladie cardio vasculaire). Le seuil de risque est à 5mg/jour pour une personne dans un état physiopathologique normal, si on augmente la dose, on estime pouvoir cacher les signes d'une mauvaise absorption de la vitamine B12, certains troubles hématologiques apparaissent (dû au déficit secondaire en vit B9) et conduisent à des troubles neurologiques.

#### 7.7.1.8. *La vitamine B12 :*

Les cobalamines sont comme de nombreuses autres vitamines B, impliquées dans le métabolisme énergétique. Il existe divers vitamères de la vitamine B12 selon le ligand (hydroxycobalamine, cyanocobalamine, ...). Elle est synthétisée par les bactéries et apportés par les aliments d'origine animale. Le pH de l'estomac entraîne sa libération des protéines. Dès ce moment-là, le facteur intrinsèque la prend en charge pour le transport et l'absorption.

Les causes de carences en vitamines B12 sont soit physiopathologiques (anémie de Biermer, gastrectomie, gastrite atrophique, ...) ou nutritionnels (régime végétaliens ou malnutrition protéino-énergétique). Une partie de la vitamine B12 alimentaire est dégradé par la cuisson et également par l'étape gastrique. Il est recommandé d'apportés 2,4mg/jour de cobalamines chez l'adulte, peu importe le sexe.

#### 7.7.1.9. *La vitamine C :*

La vitamine C intervient dans les phénomènes d'hydroxylation (nécessaire à la synthèse du collagène, de catécholamine et de la carnitine) et l'oxydoréduction. Elle a également une activité anti-radicalaire. L'absorption de la vitamine C est variable selon le sexe, l'âge, l'état physiopathologique (tabagisme, stress, ...) : la concentration plasmatique de vitamine C est plus faible chez des personnes ayant un âge avancé (cela est d'autant plus rapide chez l'homme) car avec la vieillesse le stress oxydant de l'organisme est accru et donc mobilise davantage la vitamine C. On retrouve le même phénomène chez le fumeur, qui se trouve d'avantage confronté au stress oxydant, et qui réduit son alimentation en fruit et légume. La vitamine C est également prépondérante dans l'absorption intestinale du fer.

Dans un contexte de conseil pour le sportif, notre sujet suit les recommandations hygiéno-diététiques et donc n'est pas fumeur, dans ce cas, l'homme et la femme doivent voir leurs apports en vitamine C à hauteur de 110mg par jour. La limite de sécurité est de 500mg/jour, car il y a un risque de formation de calcul rénaux, d'accoutumance à la vitamine C, d'accumulation de fer, d'avoir une activité pro-oxydante ainsi que des malaises digestifs. Il ne présente aucun intérêt de prendre des doses bien supérieures aux apports recommandés, car aucune étude n'a démontré d'efficacité améliorée. La carence en vitamine C est le scorbut, et se présente par des œdèmes, des hémorragies et un déchaussement des dents.

#### 7.7.1.10. *La vitamine A*

Présent sous la forme de rétinol et de ses dérivés dans le monde animal et sous le nom de caroténoïdes dans le monde végétal. L'activité de ces composés se fait selon l'activité du rétinol, on mesure l'activité en Unité International UI (ou en Equivalent Rétinol ER). Cette vitamine a un intérêt dans la vision, en tant que composant de la rhodopsine (constituant des cellules en bâtonnets de l'épithélium rétinien). Elle assure une bonne acuité visuelle (une mauvaise acuité est un des premiers signes d'hypovitaminose A). Elle agit dans la différenciation cellulaire (en tant que ligand des récepteurs nucléaires, via l'acide tout-trans rétinoïque). C'est une vitamine liposoluble, et est absorbé selon le même mécanisme que les lipides.

On retrouve cette vitamine dans des produits animaux tel que les foies, huiles de foies de certains poisson (morue) ou certains produits laitiers ou les œufs. On en retrouve aussi dans des produits végétaux : carottes, abricots, .... A titre indicatif, on retrouve 33 000 à

71 000UI de vitamine A pour 100g de foie et entre 4500 et 5000 UI/100g de carottes, ce sont les aliments les plus riches en vitamine A. Pour un adulte masculin sain, les apports recommandés s'élèvent à 750 µg ER/jour (sachant que 1UI = 0,3ER) et de 350µg ER/j chez la femme. Etant donné qu'il existe 2 sources d'apports pour ces vitamines, on estime qu'il est préférable que 60% de la vitamine A apportée proviennent de caroténoïdes (et donc d'aliments végétaux) : 2,1mg de bêta-carotène végétal suffisent pour compléter les apports recommandés (cela s'élève à 350 ER), cela favorise la consommation de fruits et légumes. Des apports trop importants en vitamine A sont corrélé à une hausse du risque de cancer pulmonaire. L'hypervitaminose A, correspond à un apport de 100 à 200 000UI/kg, entraîne une élévation de la pression artérielle intracrânienne, des nausées, vomissement, douleurs osseuses. En cas d'apport quotidien sur une longue période de 25 000UI, cela produit des dommages hépatiques important. La limite posée chez la population normale est de 1000ER/jour.

#### 7.7.1.11. Vitamine D :

Vitamine particulière, qui peut à la fois avoir une origine exogène et endogène. Notre organisme est capable de la synthétisé, à l'aide des rayons solaire et ultra-violet qui irradie notre peau. On différencie l'ergocholécalférol (ou vitamine D2) du cholécalférol (vitamine D3), la première a une origine végétale et la seconde une origine animale. Cette vitamine agit dans l'organisme sous forme de 1,25-dihydroxyvitamine D. Elle est stable à température ambiante et est faiblement lipophile, leur conservation est stable tant qu'elle est à l'abri de la lumière et de l'oxygène. Cette vitamine agit sur la minéralisation du tissu osseux et l'homéostasie phosphocalcique (avec l'aide de la parathormone) en jouant sur l'absorption du calcium au niveau de l'intestin. Elle possède également un effet sur la reproduction en agissant sur divers glandes impliqués (hypophyse, gonades, etc ...), ou encore sur la synthèse hormonale et le bon fonctionnement du système nerveux et immunitaire (attention une carence en vitamine D n'est pas accompagné de trouble de ce dernier). Un autre de ses effets est sa propriété à jouer sur la différenciation des cellules épidermique. La quantité de vitamine D est variable selon les taux de calcium et de phosphate, en cas de surcharge en ces deux minéraux, la production sera diminuée, de même que pour une concentration en 1,25-dihydroxyvitamine D importante.

L'apport majeur en vitamine D est endogène, c'est-à-dire que l'organisme le produit par une conversion des irradiations solaires et UV (de 290 à 315nm de longueur d'onde). Une exposition quotidienne au soleil, durant 3 semaines permettrait de produire suffisamment de vitamine D pour 6 mois, soit 10 000UI : une exposition de 15 à 30 minutes par jour du visage et des bras sont suffisant pour couvrir les apports nécessaires. Pour les apports exogènes, il est conseillé de se tourner vers les poissons de mer gras (saumon, hareng, sardine, ...) pour avoir 10 à 20µg de vitamine D pour 100g d'apports. On retrouve en plus faible quantité dans d'autres poissons (maquereau, flétan, anguille, thon : 3 à 7 µg/100g) et aussi dans la viande, les abats, le pâté, les œufs et les champignons (entre 0,2 et 2 µg/100g). L'absorption de la vitamine D exogène est relativement lente, on retrouve seulement 15 à 40% de la vitamine D absorbé dans le sang au bout de 12heures. Pour les apports, dans le cas où on a un sujet qui ne s'expose pas ou peu au soleil, on recommande 10µg/jour (soit 400UI/jour), si on prend un individu qui s'expose normalement au soleil, la vitamine D endogène couvre alors 50 à 70% des besoins vitaminiques, les RNP sont alors de 15µg/jour.

Les signes de carence en vitamine D sont très diversifiés : une ostéomalacie (causé par le défaut de minéralisation), les troubles qui découlent de l'hypocalcémie (convulsions, laryngospasmes, crise de tétanie, ...), des hypotonies musculaires, anémie ferriprive, une hypocalcémie et hypocalciurie, hypophosphatémie, ... Il faut prendre en compte dans ces cas de carences, la situation géographique du sujet, la pigmentation de la peau, l'alimentation pauvre en vitamine D ou des situations pathologiques impactant les taux en vitamines D. Les situations d'apports excessifs de vitamine D sont lorsque l'on dépasse la valeur limite de 100µg/jour (selon l'EFSA) chez l'adulte en France. Une surcharge en vitamine D se témoigne par de l'anorexie, des troubles digestif, une perte de poids, de l'irritabilité, une polyurie et polydipsie, un impact rénal et une déshydratation, ainsi que des dépôts calciques au sein des tissus mous.

#### 7.7.1.12. Vitamine E :

Retrouvé dans le monde végétal sous forme de tocophérols ou de tocotriénols. Elle a une activité antioxydante, sur les radicaux libres formés à partir des acides gras polyinsaturés, notamment au niveau des membranes lipidiques. On retrouve également une activité sur la formation des prostaglandines et du thromboxane et agit sur la cascade de l'inflammation : augmentation de la production de substances vasodilatatrices à l'origine de l'inhibition de la

prolifération des cellules musculaires lisses vasculaires, adhésions des monocytes. L'absorption par la muqueuse digestive n'est possible que pour les composés libres, la vitamine E libre est incorporée dans des micelles, le foie prélève la vitamine E dans le sang. Une fois dans le foie, la vitamine E est incorporée au sein de VLDL pour être transportée vers les tissus (tissu adipeux, corticosurrénales, ...). La vitamine E possède des propriétés protectrice anti-oxydante face aux pathologies liées aux radicaux libres (pathologies cardiovasculaires, cancers, dégénérescence liée à l'âge, etc ...).

On retrouve la vitamine E dans les huiles végétales, elles représentent alors 50 à 70% des apports en vitE, suivi par les fruits et légumes (12 à 18%) puis les produits animaux (8%). Une alimentation adaptée apporte 15 à 18mg de vitamine E par jour, sachant que les apports suffisants sont de 10,5mg/jour chez l'homme et 9.9mg/j chez la femme. On compte 55 à 80mg de vitamine E pour 100g d'huile de tournesol ou d'huiles mélangés, 10 à 30g de vitE pour 100 grammes des autres huiles, 0,8 à 2mg de vitE pour 100g d'épinards, brocolis, tomates ou poivrons. Sa biodisponibilité est de 20 à 50% pour les aliments absorbés. Il est recommandé d'apportés 12mg de vitamine E (soit 18UI) pour un adulte peu importe son sexe.

Les cas d'hypovitaminose E sont exceptionnels chez l'adulte, elle se manifeste par des troubles neurodégénératif (polyneuropathie, myopathies, rétinopathies, atteinte du SNC, ...). Les situations d'apports exagérés en vitamine E conduisent rarement à une toxicité.

#### 7.7.1.13. *La vitamine K :*

Elles jouent le rôle de cofacteur dans le phénomène de la coagulation, en agissant sur les protéines vitamine K dépendantes (facteur II, facteur VII, facteur IX, facteur X et les protéines C, S et Z). Comme les vitamines A, D et E, ce sont des substances liposolubles. Elle participe à la carboxylation de l'acide glutamique en acide gamma-carboxyglutamique de la chaîne protéique « vitamine K dépendantes ». Après son ingestion la vitamine K est intégrée à des micelles afin d'être absorbé dans le tube digestif. Par la suite, on incorpore notre vitamine aux chylomicrons, qui passent du compartiment lymphatique au compartiment sanguin, jusqu'à être absorbé par le foie. A ce moment-là, le foie vient les intégrer aux VLDL, LDL et HDL. Le foie stock majoritairement les ménaquinones et la phylloquinone sont la forme généralement observée dans la voie sanguine.

Il est rare de déceler des hypovitaminose K en France, elles sont généralement causées par des défauts d'apports, des défauts d'absorption de la vitamine K ou en cas de carences secondairement créés à la suite d'une prise d'autres produits (tel que les anticoagulants). Les besoins conseillés sont faibles pour l'adulte, car il existe un mécanisme de recyclage très performant, ils sont de 0,1 à 1µg/kg de poids, permettant de maintenir une activité anticoagulante normale : on aboutit donc à 45µg/jour en moyenne pour un adulte. Sachant que dans la grande majorité des cas, l'alimentation normale répond à ces besoins. Comme vu précédemment, la forme de vitamine K exogène majoritaire sont les phylloquinones, retrouvés dans les légumes verts, certains fruits et dans les huiles végétales. On retrouve par exemple 100 à 1000µg de vitamine K pour 100g de brocoli, de chou, de laitue, épinard ou huile de colza, 10 à 100µg pour 100g d'haricots verts, concombre, pois, huile d'olive, 1 à 10µg pour 100g de pomme, d'aubergine, de foie ou d'huile de tournesol.

#### 7.7.2. Mise en jeu lors du travail musculaire :

Elles ont un rôle de cofacteur dans les réactions enzymatiques mettant en jeu le métabolisme cellulaire, selon la durée, l'intensité, la fréquence et de l'activité physique en tant que tel, la quantité d'énergie libérée par l'ATP est variable. Les apports en vitamines hydrosolubles sont proportionnels à l'effort et à la dépense énergétique. Les besoins en vitamines hydrosolubles sont plus importants lors d'exercice physique intense et long. Une déficience en vitamines B réduisent la performance, surtout en condition aérobie.

#### 7.7.3. La capacité antiradicalaire des vitamines :

Certaines ont un effet antioxydant, afin de protéger l'organisme des radicaux libres. La peroxydation lipidique est le phénomène de dégradation des protéines, des membranes phospholipidiques et des noyaux cellulaires, par les radicaux oxygénés produits par le stress oxydant lors de l'effort physique. Ce phénomène oxydant est d'autant plus important que l'effort est intense et le sujet d'étude non entraîné : un sportif entraîné, habitué à l'effort, voit son organisme mettre en place d'avantage de système enzymatique anti-oxydant, en prévision du stress oxydant à venir. Faire des apports supplémentaires en certaines vitamines (Vit E, ...) permet d'endiguer la production de RLO et réduire les risques de blessures physiques, notamment en condition hypoxique et/ou en étant soumis à un rayonnement ionisant UV accru. Dans le cadre d'activité en altitude, il semble alors intéressant de supplémenter le sportif en vitamine E de manière drastique (entre 270 et 540mg/jour de

vitamine E au-delà de 4300m d'altitude) afin de lutter face à la détérioration de la structure physique du sujet.

#### 7.7.4. Quels sont les apports conseillés ?

L'objectif est de couvrir les besoins afin de pouvoir performer dans les épreuves sportives ainsi que d'assurer l'intégrité de l'organisme par la protection cellulaire face aux radicaux libres. On prend en compte les limites de sécurité dans les apports vitaminiques, ce sont des composés nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme, cependant ces limites ne sont pas identiques à la population générale du fait des besoins spécifiques. On précise qu'une supplémentation en une seule vitamine ne présente pas d'intérêt. Pour un individu pratiquant une activité physique d'intensité modérée, d'une à trois heures par semaine, les apports recommandés sont les mêmes que pour la population générale.

Pour les personnes pratiquant une activité physique intense et répétée, les apports dépendent du type d'activité physique et de l'intensité et de la durée de l'effort. Pour un sport d'endurance, on augmente les vitamines énergétiques (Thiamine, Riboflavine, Niacine, vit B6) et les vitamines antioxydantes (vitamine C, VitE et bêta-carotène, ...). Tandis que chez le sportif de force, on privilégie la vitamine B6 avec les protéines et les vitamines anti-oxydante. Et pour le sportif qui a des apports restreint en calorie (gymnaste, danse, ...) les apports correspondent au besoin de leur classe d'âge (tout en prenant compte la dépense énergétique). Il faut bien garder en tête que les apports vitaminiques doivent être assuré par une alimentation saine et équilibré.

#### 7.8. Les micro-constituants :

Ce sont des composés apportés par l'alimentation impactant le métabolisme et ayant un effet, bénéfiques ou non, sur la pratique sportive. On distingue les constituants d'origine animale (et/ou fabriqués par l'organisme) et ceux d'origine végétale.

Dans le cas des molécules synthétisables par l'homme, rien ne montre qu'un apport supplémentaire est bénéfique à la performance, parfois ces apports inhibent la production endogène, mais ils ne modifient pas les taux au niveau des sites de liaisons. Il faut prendre en compte la biodisponibilité différente entre des molécules consommées au sein d'un aliment et des molécules que l'on sort de leur matrice. De plus, ces constituants ne sont pas indiqués

sur le produit vendu dans le commerce. Les études toxicologiques sur ces molécules sont rares et il est donc compliqué de faire des recommandations nutritionnelles.

### 7.8.1. Les molécules que l'organisme peut synthétiser :

#### 7.8.1.1. *La créatine :*

Produit à partir d'arginine et de glycine (AA non essentielle) et de méthionine (AA essentielle). Elle assure le transport d'énergie au sein du muscle, en partant de la mitochondrie productrice d'énergie jusqu'à la myosine consommatrice. Cela lui apporte un intérêt à la compléter dans la pratique sportive, et au-delà de 6g/jour de créatine, on passe dans le domaine pharmacologique (un suivi médical est préférable).

#### 7.8.1.2. *La carnitine :*

L'organisme la produit à l'aide de lysine, sa fonction est d'agir dans le transport des acides gras vers l'espace intra-mitochondrial. Aucune étude ne démontre d'intérêt dans le développement de la masse musculaire lors de la performance sportive.

#### 7.8.1.3. *Le coenzyme Q10 :*

On retrouve des fragments de tyrosine et d'acétyl-CoA. Ce coenzyme intervient dans la production cellulaire d'énergie en agissant dans la chaîne respiratoire. Il présente une activité anti-oxydante. Aucune preuve ne témoigne d'un impact sur la performance du sportif pour une supplémentation en ce micro-constituant.

#### 7.8.1.4. *La taurine :*

Composé dérivé de la cystéine (AA non essentielle). Présente en intracellulaire, elle agit sur la régulation du volume cellulaire, a une activité anti-oxydante et agit également sur la conjugaison des acides biliaires. Sa supplémentation n'entraîne pas d'amélioration de la performance.

#### 7.8.1.5. *L'acide lipoïque :*

Formé à partir d'un acide gras à chaîne courte au niveau de la mitochondrie. Sa localisation lui permet de participer au métabolisme énergétique, en tant qu'anti-oxydant. Les apports exogènes ne modifient pas la composition de l'acide lipoïque utilisé car l'organisme n'utilise que l'isomère R (et que l'alimentation apporte un mélange racémique).

#### 7.8.1.6. *La choline*

Synthétisé à partir de sérine, on la trouve dans les membranes cellulaires et est un des constituants essentiels. Il est recommandé d'avoir des apports de 550mg/jour pour l'homme et 425mg/jour chez la femme.

#### 7.8.2. Les microconstituants des végétaux :

##### 7.8.2.1. *Les polyphénols :*

Ils possèdent une structure semblable à la vitamine E, et ont une activité anti-oxydante. On retrouve dans ce groupe de constituants, les flavonoïdes (il en existe plus de 4000 différents). Il faut cependant être prudent du fait du risque de perturber le métabolisme de l'iode ou vis-à-vis des propriétés oestrogéniques de certaines molécules de cette famille.

##### 7.8.2.2. *Les caroténoïdes*

On y retrouve le bêta-carotène ou le lycopène (présent dans les tomates). Leur absorption est variable selon le contenu digestif dans lequel il se retrouve, et également du mode de préparation des aliments apportant ces constituants.

##### 7.8.2.3. *Les phytostérols :*

Ce sont des analogues structuraux du cholestérol, perturbant l'absorption intestinal du cholestérol, présentant ainsi un intérêt en cas de taux de cholestérol élevé.

### 7.9. Complémentation et supplémentation :

#### 7.9.1. Différence ? Bénéfices/risques ?

Comme dans la population générale, on retrouve le principe de supplémentation chez les populations sportives, une très grande quantité de produits est présente sur le marché, avec des compositions et des allégations différentes. Les besoins sont variables selon la population de sportif visé. Normalement les besoins sont couverts par l'alimentation habituelle, sauf dans le cas de certains régimes alimentaire.

Lors de supplémentation, il faut garder à l'esprit que l'on vient surajouter des nutriments, se pose alors la question de la limite de sécurité. La frontière entre supplémentation et complémentation est très légère, il faut bien être attentif pour ne pas passer du mauvais côté de l'apport. Les valeurs de références ne sont pas les mêmes entre la population sportive et la population générale (dans certaines situations, des valeurs

diminuées chez le sportif ne sont pas forcément des pré-carences). En général, la supplémentation est justifiée par les sportifs par des besoins de santé (forme physique, dynamisme, gestion de la fatigue, baisse de la masse grasse, amélioration du sommeil, recherche de la performance, augmentation de la masse maigre, accroissement de l'endurance, amélioration de la récupération). Toujours avoir un œil critique sur ce qui est consommé, les laboratoires usent de malice, en précisant des allégations farfelue ou attirante pour le consommateur.

On distingue divers suppléments pour le sportif, tout d'abord on compte les nutriments « indispensables ». Avec pour commencer les suppléments à base de poudre de protéines, d'acides aminés, des vitamines ou des éléments traces dans la grande majorité de ces produits. Ce sont souvent des mélanges d'un composé, déséquilibrés par rapports aux RNP, ne s'attardant pas sur les limites de sécurité. Il faut absolument éviter de supplémenter en un seul nutriment, par exemple dans le cas des vitamines, elles agissent en tant que cofacteur dans la majorité des situations et cela nécessite donc un apport de plusieurs vitamines différentes pour avoir une réelle efficacité. Pour les minéraux, aucun effet bénéfique n'a pu être démontré pour une supplémentation, à contrario, des effets délétères ont été recensés. C'est le même cas pour les mélanges protéiques ou d'acides aminés, certains acides aminés comme l'ornithine et l'arginine agissent sur la sécrétion d'hormone de croissance, présentant un risque de déséquilibre physiologique, pour stimuler la production de cette hormone, il est préférable de pratiquer une activité physique.

On distingue des compléments à base de créatine, carnitine, d'extraits secs d'organe d'animaux (pour augmenter la masse musculaire par l'apport protéique), de lactate (pour stimuler le système tampon de l'acide lactique produit lors de l'effort), de caféine (pour son effet mobilisateur d'acides gras), d'inosine (favorise la régénération de l'ATP), ...

Dans une grande majorité des cas, des produits sont proposés et n'ont aucune allégation destinée à la pratique physique, et sont des associations déséquilibrées dans leur composition. De plus, une bonne alimentation, saine, équilibrée et diversifiée répond aux besoins de l'organisme, cela pour tous les composés. La recherche d'un composé ou procédé miracle pour accroître sa performance physique mène souvent au dopage, la frontière étant étroite entre les deux. La meilleure façon de performer n'est pas de chercher le produit qui améliorera l'athlète, mais de trouver le régime alimentaire et sa préparation physique la plus

adaptée à lui-même. La place du médecin du sport et des nutritionnistes est prépondérante ici, afin de fixer les limites d'une stratégie nutritionnelle.

#### 7.9.2. Quelques produits disponibles en pharmacie :

On retrouve en pharmacie, divers produits ayant une allégation liée au sport, ou présentant un intérêt dans la pratique sportive :

- Berroca Sport, indiqué pour une prise avant l'effort. Sa composition est diversifiée :
  - Vitamine A (400µg), Vitamine D (5µg), vitamine E (24mg), Vitamine B1 (1,65mg), Vitamine B2 (2,1mg), Vitamine B3 (24mg), vitamine B5 (9mg), vitamine B6 (2mg), acide folique (200µg), vitamine B12 (2,5µg), vitamine B8 (75µg), vitamine C (160mg).
  - Calcium (12mg), Magnésium (60mg), fer (7mg), Cuivre (1mg), Iode (75µg), zinc (10mg), Manganèse (2mg), Sélénium (50µg), Molybdène (50µg), Ginseng



Les quantités de ce produit sont supérieures aux besoins conseillés chez l'adulte, pour une consommation énergétique de 2000kcal/jour, afin d'équilibrer les réserves consommées lors de la préparation. C'est une cure, le ginseng réduit la fatigue. Son complexe vitaminique agit sur le bon fonctionnement métabolique et musculaire de l'athlète, de même que pour le magnésium, nécessaire au bon déroulement de la contraction musculaire.

- Sporténine, est un médicament homéopathique, comportant diverses souches :
  - Arnica montana 9CH, Sarcocollinum Acidum 3CH, Zincum oxydatum (3CH)

Indiqué pour soulager les courbatures et douleurs musculaires et crampes. L'intérêt de cette préparation est son schéma posologique : avant l'effort (veille ou avant épreuve), lors de l'effort et après l'effort. A raison de 1 comprimé par heure, sans dépasser les 10 par jour. Intéressant dans tous les types d'effort (mais surtout l'endurance), il n'a pas d'interaction connue et ne fait pas partie de la liste des produits dopants.



- Spiruline, complément alimentaire, provenant d'une cyanobactérie prélevée dans une algue. Elle est composée à 60% de protéines mais également en divers minéraux (magnésium, calcium), des acides gras et des vitamines (B9, B3, K et C). Son intérêt est son effet anti-fatigue et tonifiant. De plus sa composition anti-oxydante lutte contre le stress oxydant. Son apport protéique, son effet réducteur de fatigue et du risque de blessure sont intéressants dans la pratique sportive. Elle a un effet de « coupe-faim », intéressant pour contrôler l'alimentation et le poids. On retrouve environ 390mg de spiruline par gélules. La posologie est de 3 gélules/j, au cours des repas. Il existe des précautions pour les personnes sensibles à l'iode.



- Isoxan Sport Pro, intéressant pour son principe d'hydratation, il permet de reformer les réserves consommées lors de l'effort, du fait de sa composition diversifiée en micro-nutriments et glucides :

- Glucides (Maltodextrine et fructose : 25,9g), Protéines (22,7g), sel (1,1g)
- Vitamine C (10,5mg), vitamine B1 (0,3mg), vitamine B6 (0,3mg), bêta-carotène (300µg), vitamine A (150µg)
- Calcium (60mg), magnésium (39mg)



Indiqué lors de l'effort, pour une posologie de 1 sachet dans 750mL d'eau 1h30 avant l'épreuve puis 1 sachet chaque heure pendant l'effort et 1 sachet à la fin de l'épreuve, sans dépasser 5 sachets par jour. Les glucides produisent l'énergie pour le maintien de l'effort, à l'aide de la vitamine B1, la B6 aide à la régénération protéique, la vitamine C agit sur le stress oxydant et la fatigue, et pour finir les minéraux restaurent l'équilibre électrolytique.

- Ergy-Base agissant sur l'équilibre acido-basique, intéressant face à la production d'acide lactique et/ou en cas de consommation importante de viande.
  - Potassium (75mg), Calcium (32,5mg), Magnésium (40mg), Zinc (1,5mg)
  - Vitamine B1 (0,275mg), Vitamine B3 (4mg), vitamine B5 (1.5mg) Vitamine B6 (0,35mg).

Sa composition maintient une bonne solidité osseuse chez l'athlète, et agit sur l'équilibre acido-basique, perturbé lors de l'effort et souvent à l'origine de crampes musculaires. On le conseille surtout lors de régime riche en protéine. Il est à prendre en cure de 3 à 4 semaines avec 2 à 4 gélules par jour (en dehors des repas, le matin ou au coucher).



## 7.10. Le cas du dopage :

### 7.10.1. Qu'est-ce que le dopage ?

Le pharmacien entre en jeu dans la prévention du dopage, notamment chez le sportif amateur ou semi-professionnel, afin de conseiller sur une alimentation équilibrée et diversifiée pour assurer les performances physiques. La prise de complément alimentaire est généralement illusoire quant à une amélioration des performances. Cette prise de complément, si non encadrée peut conduire à des surdosages et de la toxicité, ou même au dopage. Il existe divers produits, certains produits ont un effet addictogène de pharmacodépendance et d'autres sont pris dans un contexte addictogène. Les sujets dans un contexte psychologique de vulnérabilité (trouble psychologique/psychique, entourage délétère, ...) sont souvent plus sujet à tomber dans la spirale du dopage.

Le dopage est défini par le Comité International Olympique (CIO) par : « l'usage [ou tentative d'usage] de substances ou procédés destinés à modifier artificiellement les capacités d'un sportif. Font également partie du dopage les utilisations de produits ou de procédés destinés à masquer l'emploi de produits dopants. ». Il existe une liste des produits et procédés dopants publiés chaque année, entrant en considération avec la définition. Le pharmacien doit avoir conscience de cette liste afin de renseigner et prévenir le patient (toute personne licenciée dans une pratique sportive, peut être soumise à un contrôle antidopage).

Les produits de complémentation alimentaire que l'on trouve en pharmacie respectent la législation française, cependant le manque d'uniformité à l'échelle européenne, l'accès à certains produits étrangers par internet permettent d'esquiver cette législation. Ce marché n'est pas encadré, et peut conduire à la dérive vers le dopage.

### 7.10.2. Exemples de produits dopants :

Quelques exemples de médicaments, pouvant avoir des effets dopants :

- Les corticoïdes retardent l'apparition de la fatigue. Les effets indésirables sont l'ulcère gastro-duodéal, la prise de poids, la rétention d'eau et de sodium, les œdèmes, les accidents tendino-musculaires, l'hypertension artérielle, affaiblissement des surrénales (dépression, asthénie, perte de poids, ....), dépendance, risque d'embolie et de mort subite, troubles d'ordre masculin (hypertrophie des seins, trouble de la libido et atrophie testiculaire) et féminin (troubles du cycle menstruel, hirsutisme, ...).
- Les produits stimulants retardent l'apparition de la fatigue ou pour un regain d'énergie. Cependant ils entraînent des insomnies, de l'impatience, de la confusion, de l'anxiété, une accélération/irrégularité du rythme cardiaque, crise cardiaque, ...
- Les hormones de croissance ont un effet sur la croissance cellulaire, à l'origine d'hypertrophie musculaire, et un effet stimulant sur la lipolyse et sur d'autres hormones (EPO). Elle est bio-similaire à l'hormone de croissance naturelle, et est difficile à déceler en cas de test. Ses effets indésirables sont causés par son effet hypertrophe musculaire, sur le tissu cardiaque avec hypertension artérielle, et insuffisance cardiaque, elle entraîne des troubles rénaux et thyroïdien, a un effet diurétique, entraîne des confusions, pertes de connaissances et variations d'humeur.
- Le cannabis, utilisé à des fins relaxantes et tranquillisantes, néanmoins, il reste un stupéfiant et a comme effet indésirable de ralentir le sujet qui le consomme, créer des troubles de la concentration, perturbe l'équilibre, rougeur oculaire, somnolence, augmentation du rythme cardiaque et de la tension artérielle.
- Les narcotiques agissent sur le SNC et réduisent la sensation de douleur, cependant ces substances ont un fort effet de dépendance, caractérisé par une baisse de la concentration, baisse de l'activité intellectuelle, des crises convulsives, des troubles digestif, maux de têtes, perte de confiance en soi, dépression, ...

### 7.10.3. Le dopage en réalité :

Généralement, les produits dopants consommés sont des stimulants ou des produits permettant d'accroître la masse musculaire. On observe des considérations éloignées de la

réalité, tel que « les produits dopants permettent forcément de performer, avec peu d'effets secondaires », « c'est indispensable pour gagner », ... De plus la consommation et les doses de produits consommés ne cessent d'augmenter et de se généraliser, du fait de la « sensation de bien-être » et d'avoir « une belle image de soi ».

La prévalence varie de 5 à 15% de dopage chez le sportif amateur, notamment chez l'homme. Les chiffres sont d'autant plus criants chez les individus ayant entre 20 et 25 ans et 35 et 39 ans. On estime également à 15% le nombre de personne ayant déjà songé à prendre un produit dopant. Parmi les substances les plus rencontrées on a les amphétamines (3 à 46%), les stéroïdes anabolisants (23 à 62%) et les diurétiques (1 à 4%). Ces produits sont accessibles sur internet ou en pharmacie, via ordonnance, d'où l'importance du pharmacien. Il existe deux cas de dopages possible, par inadvertance (manque de connaissance sur le règlement ou sur la composition exacte des produits consommés) ou délibéré.

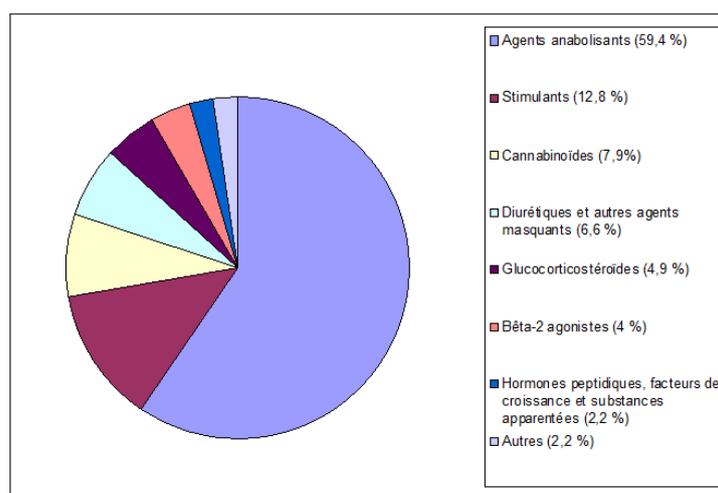


Figure 34 - Proportion des substances dopantes dans le sport

## 8. Le nutriment dans l'assiette :

### 8.1. Régime alimentaire :

#### 8.1.1. Quelle est la situation actuelle :

Précédemment nous avons vu les nutriments indépendamment les uns des autres, or cela n'arrive jamais d'avoir un seul et unique nutriment apporté, ce sont toujours des associations au seins d'aliments. Pour pouvoir répondre aux besoins des individus, il faut mettre en place des repas complets et diversifiés. Un des facteurs de bonne santé nutritionnelle est le plaisir de manger, il faut que cela reste un moment agréable et donc il est nécessaire de faire un commun accord entre plaisir de manger et apport de nutriments

nécessaires à l'athlète. La nutrition ne fait cependant pas tout, il faut que l'activité physique soit adaptée. Ce régime équilibré permet le maintien du poids corporel (ou de développer sa masse musculaire) ainsi que de gérer le vieillissement physiologique (et retarder les pathologies de sénescence).

L'alimentation idéale du sportif, se rapproche du « régime méditerranéen », permettant de réduire le risque de développer une pathologie cardiaque. Elle se compose majoritairement de céréales, fruits et légumes, végétaux, de poisson ou de volaille et de viande (en quantité modérée), les apports lipidiques sont restreints en quantité mais sont de qualité (l'huile d'olive est préférée). On retrouve également des laitages afin de compléter les apports. A partir de ce régime alimentaire, on ajoute des spécificités afin de répondre au besoin du sportif, avec une prise de sucre rapide lors de l'effort et de la phase de récupération, et on augmente les apports en glucides complexes pendant cette dernière phase.

Malgré ce que l'on peut dire et entendre, le développement de la société de consommation et de la mondialisation (restauration rapide), les aliments consommés sont de plus en plus transformés, perdent en teneur pour certains éléments. On a alors vu que depuis une trentaine d'années, les apports en certains microéléments sont beaucoup moins importants, cela pour des apports quantitativement équivalents, d'où l'intérêt d'adapter au cas par cas le discours sur la supplémentation.

#### 8.1.2. Le cas de l'omnivorisme :

L'omnivorisme est le principe de manger des produits à la fois animale et végétale. Le tableau suivant propose des aliments répondant aux besoins, dans le cadre d'un régime omnivore. Il est inspiré du régime méditerranéen, et est conçu pour une dépense de 2800kcal/jour.

Aliments	Quantité (semaine/jour)		Protides (g)	Lipides (g)	Glucides (g)	Calcium (mg)	Magnésium (Mg)	Fer (mg)
Lait ½ écrémé		200mL	7	3.5	9	250	30	0
Yaourt		1	3.4	1.5	4	200	15	0.4
Fromage blanc		150g	12	2.5	5.8	200	30	0.4
Fromages		40g	10	10		200	20	0.4

<b>Eau</b>		1.5L			15			
<b>Œufs</b>	2fois	14g	1.8	1.6			1	0.4
<b>Poissons</b>	2fois	40g	7.2	2.2			8	0.8
<b>Fruits de mer</b>		30g	4.5	0.3	0.6	40	12	0.7
<b>Foie</b>	1fois	20g	4	2			3	2.1
<b>Volaille</b>	1fois	20g	4.4	1.3			5	0.4
<b>Pain complet</b>		200g	16		100		180	4
<b>Riz, pâtes</b>		100g	7.1	0.5	42		12	0.9
<b>Pomme de terre</b>		150g	3		27		17	0.8
<b>Légumes secs</b>	200g	30g	2.4	0.1	5.7		6	2.1
<b>Soja</b>	350g	50g	4	0.5	3	50	50	4
<b>Levure</b>		10g	4.3	0.3	3.7		23	0.3
<b>Germe de blé</b>		10g	2.9	1.0	4.7		25	0.6
<b>Farine (complète)</b>		20g	3.6	0.3	18		38	0.6
<b>Banane</b>		1	1.4	0.5	24		35	0.3
<b>Légumes verts</b>		600g	6	1.5	33		100	4
<b>Fruits frais</b>		500g	1.5	1.5	60		40	1.5
<b>Fruits secs</b>		30g	0.6		19.6		18	
<b>Fructose</b>		30g			30			
<b>Miel/confiture</b>		30g			23.1			
<b>Oléagineux</b>		15g	2.25	9	2.25		22	0.2
<b>Huile</b>		20mL		20				
<b>Beurre</b>		10g		8.3				
<b>Margarine</b>		10g		8.3				
<b>Total (animal/végétal)</b>			58.3/ 56.05	31.7/ 46	415.5	940	730	25.5
<b>Total calorique</b>			453.4 (16,1%)	694.4 (24,7%)	1662 (59,2%)			

Figure 35 - Aliments pour régime omnivore (pour 2500kcal)

Le ratio entre apports protéique animales et végétales s'approche de 1, soit les apports optimaux. Les corps gras provenant de végétaux et de poissons représentent près de 60% des

graisses apportés, assurant un panachage des graisses. Les apports en sucres rapides (la confiture de glucose par exemple) représentent seulement 6,4% des calories apportés, cela peut être réduit, mais son moment de prise (le matin) lui permet de réduire son influence sur la glycémie. Et l'origine animal du fer, réduit le risque de développer une carence martiale.

### 8.1.3. Le cas du végétarisme :

On retrouve divers régimes voisins au végétarisme, le régime végétarien correspond à la non-consommation de viande, et selon les croyances, d'autres produits peuvent être absent de ses sous-régimes. Le terme de végétarien possède une connotation particulière, de personne à part, alors que dans certains pays, cela est quelque chose de répandu, pour des raisons économiques, politiques et/ou religieuses. Ce régime exclu donc la viande et certains produits d'origine animale. Peu de chiffre nous informe sur le statut des végétariens dans le sport, sur leur impact et leur état de santé, du fait de définition imprécise.

On distingue les ovo-lacto-végétarien (excluant viande et poisson et s'autorise les laitages et les œufs), les lacto-végétarien (excluant également les œufs) et les végétaliens (rejet également des laitages). Passer sur un régime alimentaire végétarien, ne constitue en rien à un remède miracle pour accroître ses performances, cependant, depuis plus d'un siècle, mise à part quelques exceptions, la quasi-totalité des champions olympiques européen ou américains sont omnivores.

Le principal problème pointé du doigt dans ce régime sont les besoins qui sont plus difficiles à couvrir. Notamment l'insuffisance d'apport protéiques, que ce soit qualitative et/ou quantitative. Pour les besoins glucidiques et lipidiques, généralement les apports des végétariens sont augmentés de 30 à 40% pour couvrir les besoins. Cependant pour certains minéraux, la consommation de végétaux à la place de viande entraîne des carences : le calcium végétal présente moins d'intérêt que le calcium provenant des laitages, ou encore pour le fer. Il faut bien prévenir quelqu'un en cours de transition vers un régime végétarien, que les 6 premiers mois sont les plus sujet à créer des carences. Pour réduire le risque de carence, le régime alimentaire suivant peut être suivi, assurant une diversité dans les apports.

Aliments	Quantité (semaine/jour)	Augmentation	Protides (g)	Lipides (g)	Glucides (g)	Calcium (mg)	Magnésium (Mg)	Fer (mg)
Laitage			32.4	17.5	18.8	850	95	1.2
Eau	1.5L				15			
Œufs	5fois	+3fois	4.5	4			4	1
Pain complet	200g		16		100		180	4
Riz	150g		3		30		45	0
Pâtes	150g		7.6	0.75	63		18	1.5
Pomme de terre	150g		3		27		17	0.8
Légumes secs	50g		4	0.2	8.8		10	3.5
Soja	75	150- 200g/semaine	6	0.75	4	75	75	4.5
Germe de blé + Levure	15g	+10g/j	10.7	2	14.1		72	1.3
Farine (complète)	30g	+50g/semaine	3.1	0.4	21.3		44	0.75
Banane	100g		1.4	0.5	24		35	0.3
Légumes verts	600g		6	1.5	33		100	4
Fruits frais	500g		1.5	1.5	60		40	1.5
Fruits secs	30g		0.6		19.6		18	
Fructose	30g				30			
Miel/confiture	30g				23.1			
Oléagineux	25g	10g/j	4	15	4		44	0.4
Huile	25g			25				
Beurre	10g			8.2				
Margarine	10g			8.3				
Total calorique	2920kcal/j		418.4 (14.3%)	698.4kcal (23.9%)	1802kcal (61.8%)	935	787	24.75

Figure 36 - Aliments pour régime végétarien (pour 2500kcal)

#### 8.1.4. Exemple de repas :

Nous allons proposer des exemples de repas sur une journée pour un sportif d'endurance de 25 ans, mesurant 1m80 et pesant 70kg :

<b>Petit déjeuner</b>	- 2 tranches de pains complet ou de blé complet (+confiture de fraise)	- 90 à 100kcal (+80kcal/tartine)
	- Bol de muesli (+fruits secs)	- 420 kcal pour 100g (+ 35cal pour 10g)
	- 200ml de lait ou 100g de fromage blanc	- 100kcal
	- Fruits (clémentine, banane, pomme)	- 47kcal, 90kcal ou 52kcal pour 100g
<b>Repas de midi</b>	- 1 portion de glucide : ➤ Pâte ou riz ➤ Pomme de terre ➤ Maïs ➤ Pois chiche ➤ Lentille	➤ 130kcal/100g ➤ 80kcal/100g ➤ 103kcal/100g ➤ 364kcal/100g ➤ 116kcal/100g
	- Portion de protéines (environ 20g) ➤ Viande rouge ➤ Tofu ➤ Œuf ➤ Poulet ➤ Poisson ➤ Soja	➤ 26g/100g ➤ 8g/100g ➤ 13g/100g ➤ 27g/100g ➤ 20g/100g ➤ 20g/25g
	- Fruits & légumes (1-2) ➤ Haricots ➤ Tomates ➤ Carottes ➤ Poivron	➤ 30kcal/100g ➤ 15kcal/100g ➤ 36kcal cure et 20kcal cuite/100g

	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Oignon</li> <li>➤ Betterave</li> <li>➤ Melon</li> <li>➤ Clémentine</li> <li>➤ Banane</li> <li>➤ Pomme</li> <li>➤ Kiwi</li> <li>➤ Fraise</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 36kcal/100g</li> <li>➤ 40kcal/100g</li> <li>➤ 19kcal/100g</li> <li>➤ 34kcal/100g</li> <li>➤ 47kcal/100g</li> <li>➤ 90kcal/100g</li> <li>➤ 52kcal/100g</li> <li>➤ 61kcal/100g</li> <li>➤ 33kcal/100g</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desserts :</li> <li>➤ Yahourt</li> <li>➤ Fromage blanc</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 53kcal/100g</li> <li>➤ 100kcal/100g</li> </ul>
<b>Diner</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Potage ou crudité</li> <li>➤ Et/ou salade (+légumes cuits ou cru)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 25 à 30kcal/100g</li> <li>➤ 16kcal/100g</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Œuf (1 à 2/semaine)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 13g de protéines/100g</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Légumes ou fruits secs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 340kcal/100g</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desserts</li> <li>➤ Fromage blanc</li> <li>➤ Lait</li> <li>➤ Yahourt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 100kcal/100g</li> <li>➤ 100kcal/200mL</li> <li>➤ 53kcal/100g</li> </ul>
<b>Collation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fruits (banane ou autre)</li> <li>- Galette de riz (+ miel)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(Cf repas de midi)</li> <li>➤ 29kcal/galette</li> </ul>

Figure 37 - Exemple de repas sur une journée

Tous les aliments non indiqués ci-dessus, peuvent être utilisé dans la préparation des plats (beurre, germe de blé, levure, farine, oléagineux, ...).

## 8.2. Préparation avant l'effort :

L'approche d'une épreuve compétitive entraîne une modification des habitudes, l'entraînement est réduit pour que l'organisme récupère et soit prêt à l'effort. Le but des

derniers jours précédant l'évènement est de régénérer les réserves, d'éviter les problèmes digestifs, de prévenir les déficits, afin d'être prêt le moment venu. Cette préparation n'est pas que le dernier repas avant l'effort mais les quelques jours avant l'épreuve.

#### 8.2.1. Le régime dissocié scandinave :

Les jours précédents, on cherche à optimiser les réserves de glycogène, pour répondre à la demande énergétique que l'effort va demander. Pour cela, on commence 7 jours avant les échéances compétitives, par vider les réserves de glycogène, via un exercice spécifique. Ensuite un régime pauvre en glucide et riche en lipide est suivi de J-7 à J-4 afin, pour terminer par des rations hyperglucidique de J-3 à J0. Ce processus permet de vider les réserves en glycogènes entièrement, pour par la suite permettre une reformation accrue des réserves, selon le phénomène de sur-compensation. Pendant la semaine de régime dissocié, l'athlète continue de pratiquer un entraînement, mais d'une intensité moindre.

Ce régime spécifique vise à remplir les réserves en glycogènes à hauteur de 110 à 150% de la quantité de stockage, en vue de l'effort à venir. Cela s'explique par l'enzyme qui convertit le glucose en glycogène, voit son action augmentée lorsque les réserves sont diminuées et qu'un effort a lieu. De plus l'activité de cette enzyme est modulée, elle accroît son activité en cas d'entraînement : lorsque le niveau de réserve en glycogène est abaissé à la suite d'un entraînement, l'organisme a la capacité de combler ce déficit par une mise en réserve accrue de glycogène. Il est donc possible de réduire son intensité d'entraînement est d'accroître significativement les quantités en glucide apporté, quelques jours avant une épreuve intense, afin de surcompenser et d'avoir des réserves décuplées. Ce phénomène n'a cependant pas lieu chez le sédentaire. Il est recommandé de modifier la première étape alimentaire en remplaçant le régime hypoglucidique/hyperlipidique par un régime mixte (où l'énergie trouve son origine à 50% dans les glucides), amenant alors moins d'effets secondaires. On peut même dans certains cas, directement passé à la phase hyperglucidiques, cela favorise alors la production d'insuline en réponse, qui augmente l'activité des récepteurs cellulaires aux glucoses et donc une meilleure captation pour la mise en réserves.

La mise en réserve est plus importante dans les 6 heures suivant la pratique sportive, les apports glucidiques doivent être fait rapidement après l'entraînement régulier, avec un apport optimal de 50g de glucide par heure. Cependant, dès lors que les réserves en glycogène

sont saturées, les apports suivants sont stockés sous forme de masse grasse lorsque l'activité physique se trouve arrêté. Cette prise de masse grasse reste cependant anecdotique. L'entraînement peut être continué pendant cette phase hyperglucidique, notamment pour rassurer l'athlète face à l'échéance à venir, cependant une partie des réserves formé est consommé à ce moment. Il est nécessaire de consommer 600g de glucides par jour pour saturer les réserves, il en faut d'avantage si l'effort est maintenu. On considère que pour des efforts d'intensité modéré, ne dépassant pas 40 minutes, les réserves ne sont pas impactées. En résumé, il faut limiter l'activité physique lors des 72 heures de phases hyperglucidiques, tout en l'évitant lors de la première journée, avec des apports de 10g de glucides par kg de poids corporel par jour.

### 8.2.2. Les repas précédent l'effort :

Il est préférable d'apporter des glucides à index glycémique bas, des sucres à index élevé peuvent également être apporté. On maintien les apports protéiques, en restreignant les apports de graisses (volaille, laitages allégés, poissons, ...) et on consomme des légumes. Les apports hydriques sont augmentés et les aliments lipido-glucidiques (lasagnes, crêpes, chocolats, glace, ...) sont évité du fait de leur apport en graisse bien trop important. On retire toutes les sources lipidiques (viande rouge, fromages, œufs, charcuterie, ...) et ne conserve que des huiles végétales pour la cuisine. Les légumes secs sont fortement conseillés aux vues de leur apport glucidique important, mais ils contiennent des fibres et sont donc à proscrire dans les 48 heures avant l'effort.

Aliment	Portion	Glucides (g)
<b><u>Matin :</u></b>		
Jus de fruit	200mL	30g
Yahourt	1	5g
Corn-flakes	50g	41g
Pain	100g	55g
Crème de marron	50g	20g
<b><u>Midi :</u></b>		
Pâtes	1 assiette	75g
Salade de pomme de terre	1 portion	30g

Pain	3 tranches	25g
Flan au pruneaux	1	25g
<b><u>Collation</u></b>		
1 banane et 3 figues sèches	55g	
Barre céréalières	1	20g
Pain d'épice	50g	25g
<b><u>Soir</u></b>		
Crêpes aux champignons	2	25g
Riz	1 portion	60g
Salade	1 portion	
Pain	2 tranches	20g
Yahourt + compote de pomme	1	25g
<b><u>Coucher</u></b>		
1 fruit		25g
<b><u>Dans la journée</u></b>		
Boisson aux polymères	½ L	40g
		<b><u>Total : 601g</u></b>

Figure 38 - Exemple de repas la veille d'une épreuve

Cela nous amène au dernier repas avant l'épreuve, il a plusieurs objectifs : ne doit pas causer de trouble digestif, restaurer le glycogène hépatique pour éviter l'hypoglycémie et protéger du risque de blessures en apportant des acides aminés. Pour éviter les troubles digestifs, on proscrit lipides et fibres, et un délai de 3 à 5 heures entre le repas et l'épreuve est demandé. La ration d'attente permet ensuite de patienter entre ce dernier repas et le départ. Ce dernier repas peut être composé d'un yaourt allégé, de flocon d'avoine et de biscottes avec de la confiture, ou un plat de riz ou de pâte avec du ketchup et un yaourt avec de la confiture. Une fois ce repas consommé, la seule chose que l'athlète consomme est la ration d'attente, composé de fructose, afin de juguler une éventuelle hyperglycémie qui est capable de conduire à une production d'insuline. Il est conseillé de prendre cette ration 45 minutes avant l'épreuve.

### 8.3. Pendant l'effort :

Un effort physique est associé à une augmentation de la température corporelle, des pertes en eau et une consommation d'énergie accru, risquant l'hypoglycémie. Lors d'un effort prolongé, le ravitaillement au cours de l'épreuve permet de maintenir l'intensité de l'effort, cependant, une absorption alimentaire peut être mal assimilée car le bon fonctionnement du tube digestif est perturbé par l'activité en cours. Ces rations répondent à plusieurs impératifs : réhydratation, éviter l'hypoglycémie, maintenir une production énergétique suffisante, maintenir un apport de sucre au cerveau, prévenir la consommation d'acides aminés. Les épreuves physiques telles que la course à pied perturbent le système digestif, du fait du choc lorsque l'on pose le pied à terre. Cela complexifie la prise de substances solides. De plus, les apports sous forme liquides permettent d'amener davantage de sucre, à cause du rejet que peut créer les aliments solides lorsque l'on mange au milieu d'une épreuve sportive.

La boisson glucidique est intéressante, car elle restaure les volumes d'eau de l'individu (éliminé lors de l'effort) et apporte des sucres afin de produire de l'énergie. La prise de cette boisson permet de maintenir l'intensité de l'effort en apportant les substrats nécessaires à la production d'énergie. Les glucides contenus dans cette boisson préservent le glucose hépatique, retardent son utilisation et retardent l'apparition de l'hypoglycémie. Lors de la prise de cette ration, divers facteurs entrent en jeu tel que le temps de vidange gastrique, de digestion et d'absorption intestinale (et de métabolisme). Ces boissons ont une composition associant divers sucres : le fructose (transformé en glucose au niveau hépatique), le glucose et le maltose. Ce panachage est fait afin de limiter les troubles digestifs. Un apport précoce de glucides lors de l'effort favorise leur utilisation (si prise dans la phase initiale de l'effort, ils fournissent 15% de l'énergie nécessaire). Le fait d'apporter un mélange de glucide, permet d'esquiver le phénomène de saturation des récepteurs et donc amener une réponse plus rapide. Le sucre de canne présente les mêmes résultats que le mélange glucose + fructose (du fait de sa composition proche) : un bolus important en début d'effort, avec des apports réguliers et constants lors de l'épreuve assure un maintien du niveau d'intensité. La consommation énergétique de ces glucides n'excède pas 40g de glucides/heures. En résumé, on commence l'effort avec un apport important d'un mélange glucose/fructose, suivi par plusieurs prises de polymère de glucose lors de l'épreuve. Il faut bien penser à diluer d'avantage le mélange en cas de fortes chaleurs pour compenser les pertes en eau ou réduire

la dilution en cas de température basse. On observe la présence de sodium dans ces boissons afin d'éviter l'hyponatrémie.

La consommation de ration solide est intéressante lorsqu'une lassitude de prise de ration liquide a lieu chez les sportifs, notamment ceux cumulant les journées de compétitions. On retrouve dans les rations solides des tartelettes, des barres énergétiques, des galettes de riz, du pain d'épice, ... L'épreuve, d'une durée suffisante permet l'utilisation de l'aliment solide avant la fin, si l'activité n'est pas trop traumatique pour le tube digestif et que l'épreuve demande suffisamment d'énergie, l'aliment solide présente un intérêt, sans toutefois être incontournable. Pour des activités moins intenses, tel que la randonnée ou le trekking, les aliments solides sont mieux accueillis que pour les sports plus intenses (comme le marathon).

#### 8.4. Post-effort et récupération :

L'objectif de cette étape est de restaurer l'équilibre physiologique perturbé lors de l'épreuve, cela dans l'entièreté du corps. On apporte alors la ration de récupération, afin de répondre à la fatigue née de l'effort.

##### 8.4.1. La phase post-effort :

Cette phase a pour but de compenser la déshydratation créée pendant la compétition, dont le degré est dépendant de l'intensité de l'effort ainsi que du contexte. Cette réhydratation doit être assurée le plus rapidement possible. L'autre but de la réhydratation est de faciliter le drainage des déchets produits à l'effort et de lutter face à l'acidité produite. On conseille des boissons gazeuses bicarbonatées, afin de répondre à l'acidité produite, on associe également du sodium, du glucose et du fructose pour accélérer la pénétration d'eau dans les cellules et restaurer les réserves en glycogène musculaire et hépatique. On conseille de prendre cette boisson le plus tôt possible après l'épreuve, de la consommer jusqu'au repas, et même de la continuer ensuite. On propose des boissons diurétiques comme le thé, assurant un drainage plus rapide de l'organisme de tous les déchets. L'effet diurétique se manifeste tardivement, une fois que les réserves hydriques sont restaurées. La limite de l'utilisation du thé a lieu si le sportif a perdu 2% de poids corporel à cause de la déshydratation lors de l'effort.

Un apport en potassium est nécessaire dans la première heure après l'effort, afin d'avoir un effet alcalinisant et lutter contre l'acidité. On propose alors des fruits secs et/ou des bananes, qui amènent également des glucides.

On propose des boissons comportant des protéines, visant à de reformer rapidement les tissus musculaires, ainsi que d'induire une élévation du taux d'insuline (afin de potentialiser l'absorption de glucides et acides aminés par le muscle). Certaines personnes pensent qu'un apport protéique juste après l'effort risque de saturer les quantités de déchets azotés, cela n'a pas lieu si on adapte l'apport protéique pour qu'il ne dépasse pas les besoins : l'apport d'acide aminé n'augmente pas les quantités de déchets car elles sont utilisées pour la resynthèse. Après la boisson transportant les protéines, l'apport de protéine au sein d'aliment solide est possible. On privilégie les aliments ayant des protéines alcalines (laitages, légumes secs, soja, pâte et riz complets) et on évite les viandes animales (car acide). Une demi-journée de récupération doit avoir lieu avant d'apporter de la viande, celle-ci ne doit pas être trop grasse, sans dépasser 140g de viande. Les acides aminés ramifiés sont très intéressants pour la récupération, à prendre au moment du premier repas ou entre le repas et le coucher. On conseil de les apportés le soir, afin de potentialiser l'effet de l'hormone de croissance et donc d'avoir un meilleur effet réparateur (on trouve ces acides aminés ramifiés soit en gélules ou en solution spécifiques).

Un facteur à gérer est la fatigue cérébrale, créer lors de l'effort, notamment dans les activités nécessitant de la réflexion et de la concentration (comme le biathlon ou la course d'orientation). Cette fatigue apparait au lendemain de l'activité. Cela a conduit à la création des « energy drink », où on retrouve le plus souvent de la caféine, luttant contre la fatigue. On retrouve également de la taurine dans ces boissons, dérivé d'acide aminé stabilisatrice de l'activité musculaires et cérébrales, et possède une propriété « anti-stress ». La composition vitaminique de ces boissons, riche en vitamine B12, accroît la capacité de mémorisation (car influent dans la synthèse d'ADN), de plus ces boissons sont fortement concentrées en sucres.

#### 8.4.2. Le premier repas :

Une prise de glucide lors du repas post-épreuve favorise l'endormissement, via la libération de sérotonine induite (neuromédiateur ayant un effet apaisant), elle favorise le sommeil et la récupération. Une prise de protéines le soir conduit à une production de somatostatine, neurotransmetteur favorisant le sommeil paradoxal. Un pic de production d'hormone de croissance a lieu le soir en cas d'apports protéiques, très pertinent pour la régénération tissulaire.

Le système nerveux utilise l'acétylcholine pour transmettre une information nerveuse, c'est un neuromédiateur extrêmement important. Il est synthétisé à partir de choline, contenue dans la lécithine, cette dernière a donc un intérêt dans la régénération des réserves d'acétylcholine consommées lors de l'épreuve. On retrouve la lécithine dans les œufs, le soja, le foie, etc .... Qui libère la phosphatidylcholine qu'elle contient, afin d'être dégradé et libéré sa choline. Un apport suffisant de lécithine peut conduire à une hausse de 400 à 600% de la choline plasmatique. En cas d'apport insuffisant de la choline, l'organisme la prélève au niveau des membranes du système nerveux et s'auto-détruit, ayant des répercussions sur la performance et tout simplement sur le bon état physiologique.

Un sportif répétant des efforts dans un cadre compétitif sur plusieurs jours successifs, ne fait pas le même repas à chaque fois. Il est attentif à son alimentation car il souhaite maintenir son niveau de performance, et ne se permet pas d'écart de conduite (pas de repas riche et disproportionnés venant perturber l'équilibre physiologique). De plus, la composition du repas est modifiée selon les méthodes de récupération que suit l'athlète (massage, sauna, cryothérapie, ...). Le repas post-effort est principalement composé de fruits et légumes frais, mais également d'aliment glucidique. On va conseiller de ne pas se jeter sur des aliments riches en lipides comme la charcuterie lors du premier repas, car les fonctions digestives ne sont pas revenues à la normale depuis l'épreuve. Les crudités sont recommandées (carottes râpées) avec de la salade afin d'apporter des anti-oxydants et des fibres ainsi qu'un légume vert (anti-oxydant). Un apport glucidique via les pâtes/riz/taboulé, avec un légume sec ou du soja assure un apport de protéines ainsi qu'un effet alcalinisant sur la physiologie, de plus le soja apporte la lécithine. Le dessert correspond à un laitage avec un dessert sucré, toujours pour refaire les réserves glucidiques.

Le retour à une alimentation plus classique se fait dès le lendemain, il arrive même que les apports sont grandement accrus dès le lendemain de l'effort, répondant au phénomène de compensation et de la nécessité de restaurer les réserves de glycogène hépatique.

<b>Arrivé h0 à h+30minutes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eau gazeuse</li> <li>- Boisson glucidique dilué</li> </ul>
<b>De h+30 à h+60minutes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Boisson glucidique</li> <li>- Yahourt à boire</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fruits secs</li> </ul>
<b>De h+60 à h+180minutes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Boisson</li> <li>- Collation solide, café/thé/bière</li> </ul>
<b>Le soir</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Repas de récupération</li> <li>- Eau (gazeuse)</li> </ul>
<b>Coucher</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acides aminés ramifiés</li> <li>- Lait sucré</li> </ul>
<b>Lendemain</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Petit déj hyperglucidique (si compétition continue)</li> <li>- Ou normoglycémique (si jours de repos)</li> <li>- Laitage</li> </ul>

Figure 39 - Le planning nutritionnel de la récupération

## 9. Conclusion :

La place du sport dans notre société devient de plus en plus prépondérante, que ce soit dans un cadre de plaisir, de performance, d'objectif « summer-body », etc ... le nombre de personnes pratiquant une activité physique ne cesse de croître, cela pour diverses raisons. Les entraînements conduisent à des adaptations de l'organisme et du métabolisme, qui doivent être pris en compte dans l'alimentation : type d'aliments, quantités et moments de prises sont variables selon la pratique sportive et les objectifs du patient. Auquel cas, le risque de méforme ou de blessure est accru.

Le danger auquel sont exposés les sportifs amateurs, ou semi-amateur, est l'accessibilité aux informations non vérifiées. Beaucoup de données et de conseils nutritionnels sont disponibles dans des magazines, sur internet, sur des blogs. Cependant la véracité des propos n'est pas toujours démontrée, et en gardant à l'esprit que la nutrition du sportif doit être individualisée. Le manque de références scientifiques de ces articles témoigne de leur manque de sérieux, c'est ici que les professionnels de santé tel que le pharmacien entrent en jeu, afin de lutter contre les idées reçues et les fausses informations. Ce point est notamment mis en avant par les différents PNNS mis en place par la politique nationale. Ces plans témoignent de la disponibilité des pharmaciens pour le conseil nutritionnel.

Dans le cadre de cette thèse, la réalisation d'une enquête au sein d'une officine du Puy-de-Dôme m'a permis d'étudier la place du pharmacien dans le conseil nutritionnel. Les données furent recueillies à l'aide d'un questionnaire accessible par un QRcode affiché dans la pharmacie. Cette étude destinée aux patients de l'officine, de tout âge et pratiquant une activité physique ou non, donna un total de 216 réponses (les résultats sont disponibles en annexes). Il ressort de cette enquête que 2/3 des patients ayant répondu pratiquent du sport 2 fois ou plus par semaine et que 1/3 des participants ont moins de 40 ans. Les participants de l'étude révèlent être victime de courbatures après l'effort (28% de façon régulière et 65% de temps à autres) et de crampes (52% de temps en temps et 4,6% de façon régulière) et 36% avouent ne pas avoir une alimentation adaptée. Environ ¼ des participants consomment des compléments alimentaires, mais ne ressentent pas de réelles améliorations sur leur performance (réponses « non » à 84,3%). Les personnes ayant répondu à l'enquête achètent

à 73,6% leurs compléments alimentaires en pharmacie. En revanche, 76,9% ne pensent pas aller voir leur pharmacien pour demander des conseils de nutrition.

Le pharmacien est encore trop peu questionné sur les sujets de nutrition, ceci malgré son bagage scientifique. C'est un professionnel de santé totalement capable de conseiller les patients qui viennent le voir, sur divers sujets de nutrition (régimes alimentaires, compléments alimentaires, médicaments et dopages, ...). Comme le démontre l'étude, il existe une population de sportifs ayant besoin de conseils, car victime de courbatures ou de crampes, qui sont des phénomènes évitables. Le conseil sur le complément alimentaire est primordial, car ce marché est de plus en plus concurrencé par internet et les magasins de produits sportifs. Par le biais de sa formation, le pharmacien apporte un conseil basé sur des données scientifiques, ce qui n'est pas le cas dans les autres situations. De plus chaque complément alimentaire est adapté à une situation, d'où la nécessité d'éclairer le patient à propos de tous les produits disponibles sur le marché. La disponibilité importante du pharmacien est également un argument de taille pour les patients, car aucun rendez-vous n'est nécessaire pour s'entretenir avec lui.

Nous avons pu voir précédemment que la nutrition et l'impact d'une activité physique sur l'organisme sont très importants et complexes. Les études dans le domaine de la nutrition sportive sont en pleine explosion, avec quotidiennement de nouvelles découvertes. La réalité du sportif de très haut niveau, ayant une hygiène de vie irréprochable, témoigne bien de l'importance de la nutrition sur la performance et son maintien dans le temps. Un grand nombre de paramètres et de facteurs sont à prendre en compte. Contraint par le nombre de pages pour la rédaction de cette thèse, je n'ai pu aborder le sujet qu'en surface. Ainsi, l'influence du comportement cardio-vasculaire sur la réponse à l'effort physique et les apports alimentaires, les différentes réponses endocrines de l'organisme, l'importance et la variabilité selon les individus du microbiote digestif dans l'absorption et biodisponibilité des aliments, les différentes techniques de récupération, ou encore des différentes réponses de l'organisme aux activités physiques constituent autant d'éléments influents qui doivent être pris en compte.

## 10. Bibliographie :

- W. L. Kenney, J.H. Wilmore, D.L. Costill, « Physiologie du sport et de l'exercice », 6<sup>ème</sup> édition, édition DEBOECK, 2017
- O. Masson, « Biochimie : base biochimique de la diététique », 2<sup>ème</sup> édition, édition Lavoisier, 2007
- A. Martin, « Apports nutritionnels conseillés pour la population française », 3<sup>ème</sup> édition, édition Tect & Doc, 2000
- D. RICHE, « Guide nutritionnel des sports d'endurance », 2<sup>ème</sup> édition, édition VIGOT, 2007
- D. RICHE, « Micronutrition, santé et performance », 1<sup>ère</sup> édition, édition de Boeck, 2008
- J. KRUIH, « BIOCHIMIE, études médicales et biologiques – Métabolismes », 1<sup>ère</sup> édition, édition Hermann Paris, 1983
- H. Monod, R. Flandrois, H Vandewalle, « Physiologie du sport », 6<sup>ème</sup> édition, édition Masson, 2007
- CRNH Auvergne, « Université d'été de Nutrition 2013 – Nutrition et sport - Recherche et Nutrition – Nutrition et tube digestif », [Disponible à la BU santé Clermont-Fd].
- « Mécanisme de la contraction ». [En Ligne]. Disponible sur [www.institut-myologie.org/enseignement/connaissances-sur-le-muscle/mecanismes-de-la-contraction](http://www.institut-myologie.org/enseignement/connaissances-sur-le-muscle/mecanismes-de-la-contraction)
- A. Lecourtois-Dreanuc, « Le conseil hygiéno-diététique à l'officine, création de fiches conseils pour le patient » [thèse de doctorat en pharmacie de l'université de Nantes], 2013
- T. OTT, « Rôle du pharmacien d'officine dans le conseil diététique du sportif d'endurance » [thèse de doctorat en pharmacie de l'université de Lille 2], 2014
- M-P Vasson, « Principe de nutrition pour le pharmacien », 1<sup>ère</sup> édition, Edition Lavoisier, 2005

- « Le système Rénine-angiotensine-aldostérone » [En Ligne]. Disponible sur [www.msmanuals.com/fr/accueil/multimedia/figure/cvs\\_regulating\\_blood\\_pressure\\_renin\\_fr](http://www.msmanuals.com/fr/accueil/multimedia/figure/cvs_regulating_blood_pressure_renin_fr)
- « Liste des médicaments et des substances dopantes » [En ligne]. Disponible sur [www.data.gouv.fr/fr/datasets/liste-des-medicaments-et-des-substances-dopantes](http://www.data.gouv.fr/fr/datasets/liste-des-medicaments-et-des-substances-dopantes)
- C. Martinez (2017), « Le sportif à l'officine : quelle place pour le pharmacien dans le conseil nutritionnel et l'utilisation des compléments alimentaires ? » [Thèse de doctorat en pharmacie de l'université d'Amiens].
- « Alimentation et nutrition humaine » [En Ligne], Disponible sur [www.anses.fr/fr/thematique/alimentation-et-nutrition-humaine](http://www.anses.fr/fr/thematique/alimentation-et-nutrition-humaine)
- Les références nutritionnelles en vitamines et minéraux » [En Ligne], Disponible sur [www.anses.fr/fr/content/les-references-nutritionnelles-en-vitamines-et-mineraux](http://www.anses.fr/fr/content/les-references-nutritionnelles-en-vitamines-et-mineraux)
- « Programme National Nutrition Santé – Professionnels » [En ligne], Disponible sur [solidarites-sante.gouv.fr/prevention-en-sante/preserver-sa-sante/le-programme-national-nutrition-sante/article/programme-national-nutrition-sante-pnns-professionnels](http://solidarites-sante.gouv.fr/prevention-en-sante/preserver-sa-sante/le-programme-national-nutrition-sante/article/programme-national-nutrition-sante-pnns-professionnels)
- « Berroca Sport », [En Ligne], Disponible sur [www.berocca.ch/fr/produit/berocca-sport](http://www.berocca.ch/fr/produit/berocca-sport)
- « Sporténine » [En Ligne], Disponible sur [www.boiron.fr/nos-produits/nos-medicaments/sportenine](http://www.boiron.fr/nos-produits/nos-medicaments/sportenine)
- « La spiruline » [En Ligne], Disponible sur [www.arkopharma.com/fr-FR/la-spiruline](http://www.arkopharma.com/fr-FR/la-spiruline)
- « Isoxan Sport Pro » [En Ligne], Disponible sur [isoxansport.com/complement-alimentaire/sport-pro-boisson-energetique](http://isoxansport.com/complement-alimentaire/sport-pro-boisson-energetique)
- « Erybase » [En Ligne], Disponible sur [www.nutergia.com/complement-alimentaire/fr/produits-nutergia/vos-besoins/equilibre-digestif/nutergia-erybase\\_BQ.php](http://www.nutergia.com/complement-alimentaire/fr/produits-nutergia/vos-besoins/equilibre-digestif/nutergia-erybase_BQ.php)

- S. Borloz, « Dopage chez les sportifs amateurs (2013) », [En Ligne] Disponible sur [sgsm.ch/fileadmin/user\\_upload/Zeitschrift/61-2013-1/01-2013\\_3\\_Borloz.pdf](http://sgsm.ch/fileadmin/user_upload/Zeitschrift/61-2013-1/01-2013_3_Borloz.pdf)
- R. Jäger, « International Society of Sports Nutrition Position Stand : Probiotics », [En Ligne], Disponible sur [www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6925426/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6925426/)
- C.M. Pound, « Energy and sports drinks in children and adolescents » (2017), [En Ligne], Disponible sur [www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5823002/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5823002/)
- Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada And American College of Sports Medicine, « Nutrition and Athletic Performance » [En Ligne], Disponible sur [journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2016/03000/Nutrition\\_and\\_Athletic\\_Performance.25.aspx](http://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2016/03000/Nutrition_and_Athletic_Performance.25.aspx)
- P. Ducrotte, « Le microbiote intestinal chez le sportif : Place des probiotiques », [En Ligne], disponible sur [www.afdn.org/fileadmin/regions/alsace/171130-microbiote-sportif.pdf](http://www.afdn.org/fileadmin/regions/alsace/171130-microbiote-sportif.pdf)
- P. Bacquaert, « Microbiote et Sport », [En Ligne], Disponible sur [www.irbms.com/microbiote-et-sport/](http://www.irbms.com/microbiote-et-sport/)
- J-F. Claerbout, « Rôle et implication du microbiote intestinal chez le sportif » [En Ligne], Disponible sur [www.irbms.com/role-et-implication-du-microbiote-intestinal-chez-le-sportif/](http://www.irbms.com/role-et-implication-du-microbiote-intestinal-chez-le-sportif/)
- J. Vanhelst, «Physical fitness levels in French adolescents: The BOUGE program», [En Ligne], Disponible sur [hal.archives-ouvertes.fr/hal-02177227](http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02177227)
- B. Desbrow, “Sports nutrition for the recreational athlete” [En Ligne], Disponible sur [www1.racgp.org.au/ajgp/2020/january-february/sports-nutrition-for-the-recreational-athlete/](http://www1.racgp.org.au/ajgp/2020/january-february/sports-nutrition-for-the-recreational-athlete/)
- JC. Basson, « La traduction territorial du Programme national nutrition santé en Midi-Pyrénées, France », [En Ligne], Disponible sur [www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4750150/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4750150/)
- M-C Savelieff, « Le grand livre de l'alimentation du sportif », édition Leduc.S Pratique, 2018

## 11. Annexes :

Nutriments	Rôles principaux	Sources essentielles
<b>Vitamine C</b>	Antioxydant, synthèse de collagène, amélioration de l'absorption du fer, diminution de la sensibilité à certains allergènes	Fruits rouges (cassis, fraises, groseilles), agrumes (orange, citron, pamplemousse), kiwis, fruits exotiques, légumes (chou-fleur, chou, ...), légumes verts, persil
<b>Vitamine B1</b>	Assimilation des glucides, métabolisme des acides aminés	Viande (porc), poissons, œufs, légumineuses (lentilles, haricots), céréales complètes
<b>Vitamine B2</b>	Maillon de la chaîne respiratoire et du métabolisme énergétique, métabolisme des purines et des acides aminés	Produits laitiers (yaourt, fromage, lait), œuf, viande, poisson, céréales complètes, légumineuses
<b>Vitamine B3</b>	Métabolisme des glucides, lipides et protéines	Viande (surtout volailles, lapin) et poisson (thon, saumon), légumineuses (lentilles, soja, petits pois, fèves, ...), fruits oléagineux (cacahuètes, noisettes, amandes, ...)
<b>Vitamine B5</b>	Constituants essentiels du Coenzyme A, métabolisme cellulaire, métabolisme des acides gras, de la cétoxygénèse	Viande et poisson, œuf, céréales complètes, légumineuses, fruits et légumes
<b>Vitamine B6</b>	Métabolisme des acides aminés, synthèse de neurotransmetteurs	Céréales, légumineuses, viande, poisson, œufs
<b>Vitamine B8</b>	Coenzyme d'enzymes, métabolisme des AA, des corps gras, néoglucogénèse	Viande (volailles), légumes frais (chou-fleur, ...), légumineuses, champignons, œuf
<b>Vitamine B9</b>	Synthèse des nucléotides, synthèse des protéines, maturation des érythrocytes, diminution de l'homocystéinémie	Légumes verts à feuilles (salade, épinards, cresson, mâche, ...)
<b>Vitamine B12</b>	Immunité, synthèse des érythrocytes, diminution de l'homocystéinémie	Poisson, viande, œufs, laitages (fromages, lait, ...)
<b>Vitamine A</b>	Rétinol : Vision, protection des épithéliums, croissance, immunité Béta-carotène : antioxydant	Rétinol : beurre, fromage, œuf, Béta-carotène : fruits colorés (melon, abricots, pêches, orange), légumes colorés (carotte, tomates), légumes verts (épinards, persil)

<b>Vitamine E</b>	Antioxydant/protection des membranaires cellulaires	Huile végétale (tournesol, olive, soja, colza, arachide, maïs)
<b>Vitamine D</b>	Absorption du calcium augmenté, minéralisation des os, croissance	Poisson gras (sardine, maquereau, thon), jaune d'œuf, laitage (laits entiers, beurre, fromages) + synthèse endogène cutanée
<b>Vitamine K</b>	Coagulation sanguin	Choux (chou vert, chou rouge, chou de bruxelles, chou-fleur), brocoli, légumes verts à feuilles (persil, épinard) + synthèse flore intestinale
<b>Calcium</b>	Métabolisme osseux, conduction nerveuse, excitabilité, neuromusculaire, coagulation sanguine	Produits laitiers, fruits, légumes secs, eaux minérales (vittel, hépar, contrex, badoit)
<b>Phosphore</b>	Métabolisme osseux	Fromage, produits laitiers, viande, œuf, légumineuses, oléagineux
<b>Magnésium</b>	Participe aux réaction métaboliques, réactions énergétiques, adaptation au stress, excitabilité neuromusculaire	Légumes et fruits secs, céréales, cacao, eaux minérales (hépar, contrex, vittel)
<b>Fer</b>	Hémoglobine et myoglobine, composant d'enzymes cytochrome	Viandes, poissons (fer héminique), légumes secs, légumes vers (fer non héminique)
<b>Zinc</b>	Métabolisme des différents nutriments et des acides nucléiques	Produits de la mer (surtout huitre), viande (volailles, porc), céréales complètes
<b>Cuivre</b>	Cofacteur d'enzymes, immunité	Légumes secs, crustacés
<b>Fluor</b>	Prévention carie dentaire	Eaux minérales, eau du robinet, thé
<b>Iode</b>	Hormone thyroïdiennes	Produits de la mer, légumes secs (haricots, soja, ...)
<b>Sélénium</b>	Antioxydant	Viande, poisson, lait, céréales complètes

Annexe 1 - Fonction et sources nutritionnelle des nutriments

Vitamines et minéraux	Apports nutritionnels Conseillés (Homme/Femme)	Apports nutritionnels complémentaire
Thiamine (mg)	1,3/1,5	1
Riboflavine (mg)	1,6/1,5	1
Niacine (mg)	14/11	2,5
Vitamine B6 (mg)	1,8/1,5	1
Biotine (µg)	50	
Folates (µg)	330/300	100
Vitamines B12 (µg)	2,4	1,5
Vitamine C (mg)	110	100
Vitamine A (µg ER)	800/600	200
Vitamine D (µg)	5	4
Vitamine E (mg)	12	12
Acide pantothénique (mg)	5	
Vitamine K (µg)	45	
Fer (mg)	9/16	6
Zinc (mg)	12/12	1
Sélénium (µg)	60/50	30
Cuivre (mg)	2/1,5	0,6
Manganèse (mg)	1-2,5	0,6
Chrome (µg)	65/55	20
Iode (µg)	150	50

Annexe 2 - Apports nutritionnels des nutriments

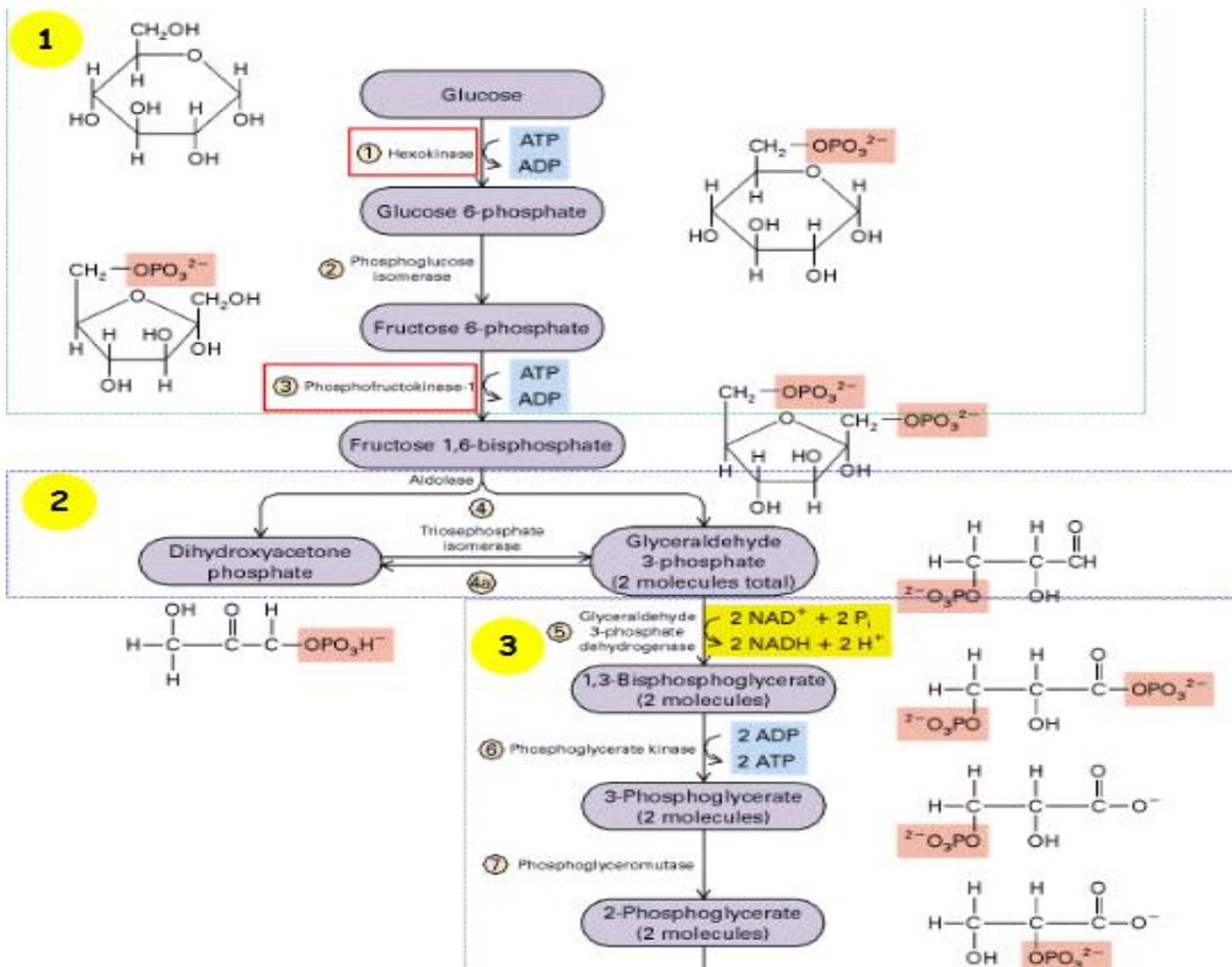
Index glycémique faible (< 39)		Index glycémique modéré (40-59)		Index glycémique élevé (< 60)	
Abricots (fruits frais)	30	Abricots (boîte, au sirop)	55	Ananas (boîte)	65
Abricots secs	35	Canneberge	45	Baguette	70
Ail	30	Ananas (fruits frais)	45	Bananes (mûre)	60
Fruits oléagineux (amande, cacahuètes, arachides, noisettes, noix, noix de cajou, pistaches)	15	Avoine	40	Barres chocolatées (sucrées)	70
Fruits rouges frais sans sucre (fraise, framboise, groseille, mure)	25	Banane (verte)	45	Betterave (cuite)	65
Artichaut	20	Banane plantain (crue)	45	Bière	110
Asperge	15	Barre énergétique de céréales (sans sucres)	50	Biscottes	70
Aubergine	20	Beure de cacahuète (sans sucre ajouté)	40	Biscuit	70
Avocat	10	Biscuits (farine complète, sans sucre)	50	Bouillie de farine	70
Betterave (crue)	30	Biscuits sablés (farine, beure, sucre)	55	Brioche	70
Brocoli	15	Blé (farine intégrale)	45	Carottes (cuites)	85

Nectarines (blancs ou jaunes)	35	Blé (type ébly)	45	Céleri rave (cuit)	85
Cacao en poudre (sans sucre)	20	Boulogour (blé, cuit)	55	Céréales raffinées sucrées	70
Carottes (cru)	30	Céréales complètes (sans sucre)	45	Châtaigne, marron	60
Cassoulet	35	Chayotte, christophine (purée de)	50	Chips	70
Céleri branches	15	Cidre brut	40	Confiture de marmelade (sucrée)	65
Céleri rave (cru, remoulade)	35	Couscous intégral, semoule intégrale	45	Corn flakes, flocons de maïs	85
Céréales germées (germe de blé, de soja)	15	Couscous/semoule complète	50	Courges (diverses)	75
Cerises	25	Epeautres (farine intégrale ancienne)	45	Crème glacée classique (sucrée)	60
Champignon	15	Epeautre (pain intégral)	45	Croissant	70
Chocolat noir (> 70% de cacao)	25	Farine de kamut (intégrale)	45	Dattes	70
Chocolat noir (> 85% de cacao)	20	Farine de quinoa	40	Doughnuts	75
Choux, choucroute, chou-fleur, choux de bruxelle	15	Fèves (cru)	40	Farine complète	60
Cœur de palmier	20	Figues sèches	40	Farine de blé blanche	85
Concombre	15	Flacons d'avoine (non cuite)	40	Farine de maïs	70
Confiture de marmelade (sans sucre)	30	Gelée de coing (sans sucre)	40	Farine de riz	95
Cornichon	15	Haricots rouges (boite)	40	Fécule de pomme de terre (amidon)	95
Courgettes	15	Jus d'ananas (sans sucre)	50	Fèves (cuites)	80
Crustacés (homard, crabe, langouste)	5	Jus d'orange (sans sucre et pressé)	45	Gaufre au sucre	75
Echalote	15	Jus d'airelle rouge/canneberge (sans sucre)	50	Gelée de coing (sucrée)	65
Endives	15	Jus de carottes (sans sucre)	40	Glucose	100
Epices (poivre, persil, basilic, origan, carvi, cannelle)	5	Jus de mangue (sans sucre)	55	Gnocchi	70
Epinards	15	Jus de pomme (sans sucre)	50	Lasagnes	75
Figue, figue de barbarie (fraiche)	35	Jus de raisin (sans sucre)	55	Maïzena (amidon de maïs)	85
Flageolets	25	Kaki	50	Mayonnaise (industrielle, sucrée)	60
Fromage blanc sans sucre	30	Ketchup	55	Melon	60
Fructose	20	Kiwi	50	Miel	60

Haricots coco, haricots mange-tout, coco plat, cocos, pois mange tout	15	Lactose	40	Muesli (avec sucre, miel, ...)	65
Haricots blancs, noirs ou rouges	35	Litchi (fruits frais)	50	Navet (cuit)	85
Haricots verts	30	Macaronis (blé dur)	50	Nouilles	70
Jus de citron (sans citron)	20	Mangue (fruits frais)	50	Nouilles, vermicelle chinois (riz)	65
Jus de tomate	35	Moutarde (avec sucre ajouté)	55	Pain au chocolat ou au lait	65
Lait de soja	30	Muesli (sans sucre)	50	Pains au seigle, pain complet	65
Lait (écrémé ou non)	30	Noix de coco	45	Pain blanc	90
Lentilles	30	Pâtes à tartiner	55	Pain de mie ou pain hamburger	85
Maïs ancestral	35	Pain 100% intégral au levain pur	40	Pain azyme	70
Clémentines	30	Pain au quinoa	50	Pastèque	75
Mandarines	30	Pain azyme (farine intégrale)	40	Pizza	60
Moutarde	35	Pain de kamut	45	Polenta, semoule de maïs	70
Navet (cru)	30	Pain grillé, farine intégrale sans sucre	45	Pomme de terre en flocons (instantanée)	90
Oignons	15	Papaye (fruits frais)	55	Pomme de terre en purée	80
Olives	15	Patates douces	50	Pomme de terre au four	95
Oranges (fruits frais)	35	Pâtes complètes (blé entier)	50	Pomme de terre cuits à l'eau/vapeur	70
Pain essène (de céréales germés)	35	Pâtes intégrales, al dente	40	Pomme de terre frites	95
Pamplemousse (fruits frais)	25	Pêche (boites, au sirop)	55	Pop corn (sans sucre)	85
Pêches (fruits frais)	35	Pepino, poire-melon	40	Porridge, bouillie de flocons d'avoine	60
Petits pois (frais), pois chiches, fanel	35	Petits pois (boite)	45	Potiron	60
Poireaux	15	Pruneaux	40	Poudre chocolatée (sucrée)	60
Poivrons	15	Raisin (fruits frais)	45	Raisins secs	65
Pomme (compote)	35	Riz basmati complet	45	Raviolis	70
Pomme, poire (fruit frais)	35	Riz basmati long	50	Risotto	70
Prunes (fruits frais)	35	Riz complet brun	50	Riz à cuisson rapide (pré-cuit)	85
Radis	15	Riz rouge	55	Riz au lait (sucré)	75
Ratatouille	20	Sablé (farine intégrale, sans sucre)	40	Riz blanc standard	70
Riz sauvage	35	Sarrasin, blé noir	40	Riz de Camargue	60
Salade (laitue, scarole, frisée, mâche, etc ...)	15	Sauce tomate, coulis de tomate (avec sucre)	45	Riz long, riz parfumé	60
Salsifis	30	Seigle	45	Riz soufflé, galettes de riz	85

Sauce tomate, coulis de tomate (sans sucre)	35	Sorbet (sans sucre)	40	Semoule, couscous	60
Tofu (soja)	15	Spaghettis al dente (cuit 5 minutes)	40	Sirop d'érable	65
Tomates	30	Spaghettis blancs bien cuits	55	Sirop de glucose, de blé, de riz	100
Tomates séchées	35	Surimi	50	Sodas	70
Vinaigre	5	Sushi	55	Sorbet (sucré)	65
Yahourt édulcoré	15	Tagliatelles (bien cuites)	55	Sucre blanc, roux	70
Yahourt, yoghourt, yogourt nature	35	Topinambour	50	Tacos	70

Annexe 3 - Index Glycémique de divers aliments



Annexe 4 - La glycolyse



Glandes endocrine	Hormone	Organe cible	Fonctions principales	Réponse à l'exercice	Réponse à l'entraînement
<b>Hypophyse (lobe antérieur)</b>	Hormone de croissance (GH)	Toutes les cellules	Stimulation du développement et maturation tissulaire, augmentation synthèse protéique, mobilisation des graisses et utilisation comme substrat énergétique, diminution des taux d'utilisation des glucides	Augmente avec l'intensité	Diminue pour une même intensité d'exercice
	Thyroid-stimulation Hormone (TSH)	Glandes thyroïde	Contrôle de la sécrétion de thyroxine et de tri-iodothyronine produites et libérés par la glande thyroïde	Augmente avec l'intensité	Inconnue
	Adrénocorticotropin-hormon (ACTH)	Cortex surrénalien	Contrôlé de la sécrétion des hormones surrénaliennes	Augmente avec l'intensité ou la durée	Diminue pour une même intensité
	Prolactine	Glande mammaire	Stimulation développement glande mammaire et sécrétion lactée	Augmente à l'exercice	Inconnue
	Follicule-stimulating-hormone (FSH)	Ovaires, testicules	Déclenche maturation des follicules ovariens et stimule la sécrétion oestrogénique des ovaires et spermatogénèses	Légère ou inchangé	Inconnue
	Luteinizing-hormone (LH)	Ovaires, testicules	Stimulation sécrétion oestrogénique et progestérone, déclenche rupture folliculaire (=ovulation) et activation de la sécrétion de testostérone par les testicules	Légère ou inchangé	Inconnue
<b>Hypophyse (lobe postérieur)</b>	Antidiuretic hormone (ADH)	Reins	Contrôle excrétion de l'eau par les reins, augmentation de la pression artérielle (via vasodilatation)	Augmente avec l'intensité	Diminue pour une même intensité d'exercice
	Ocytocine	Utérus, glande mammaire	Contraction des muscles utérins et sécrétions lactée	Réponse inconnue	Réponse inconnue
<b>Thyroïde</b>	Thyroxine et triiodothyronine	Toutes les cellules	Augmente activité métabolique des cellules, augmente fréquence de contractilité du cœur	T3 et T4 libres augmentent avec l'intensité	Le turn-over de t3 et t4 augmente pour une même intensité d'exercice
	Calcitonine	Os	Contrôle de la concentration plasmatique des ions calcium	Réponse inconnue	Réponse inconnue
<b>Parathyroïde</b>	Parathormone (PTH)	Os, intestins, reins	Contrôle de la concentration des ions calciques dans les liquides extracellulaires.	Augmente à l'exercice prolongé	Réponse inconnue

<b>Médulla surrénaliennes</b>	Adrénaline	Une grande partie des cellules	Mobilisation glycogène, augmente début sanguin musculaire, augmente fréquence et contractilité du cœur, augmente la consommation d'oxygène.	Augmente avec l'intensité, début à environ 75% de O <sub>2</sub> max	Diminue pour une même intensité d'exercice
	Noradrénaline	Une grande partie des cellules	Entraine la contraction des artérioles et des veinules, élève la pression artérielle	Augmente avec l'intensité, début à environ 50% de l'O <sub>2</sub> max	Diminue pour une même intensité d'exercice
<b>Cortex surrénalien</b>	Minéralocorticoïdes	Reins	Augmente la rétention de sodium et excrétion rénale du potassium	Augmente avec l'intensité	Inchangé
	Glucocorticoïdes (cortisol)	Une grande partie des cellules	Contrôle le métabolisme des glucides, des lipides et des protéines	Augmente seulement à des intensités élevés	Légère augmentation
	Androgène et œstrogènes	Ovaire, glande mammaires et testicules	Développement des caractères sexuels masculins et féminins	Augmente avec l'intensité	Diminue pour une même intensité d'exercice
<b>Pancréas</b>	Insuline	Toutes les cellules	Contrôle de la glycémie (diminue le niveau de glucose), augmente l'utilisation de glucose et la synthèse des graisses.	Augmente avec l'intensité	Diminue pour une même intensité d'exercice
	Glucagon	Toutes les cellules	Augmente la glycémie, accélère la dégradation des graisses et des protéines.	Augmente avec l'intensité	Diminue pour une même intensité d'exercice
	Somatostatine	Ilots de langerhans et tractus gastro-intestinal	Inhibe la sécrétion d'insuline et de glucagon	/	
<b>Reins</b>	Rénine et érythropoïétine (EPO)	Corticosurrénales, moelle épinière	Participe au contrôle de la pression artérielle, stimule la synthèse des globules rouges	Augmente avec l'intensité	Inchangée
<b>Testicules</b>	Testostérone	Organes sexuels, muscles	Développement des caractères sexuels masculins, stimule la croissance musculaire	Légère augmentation	Baisse des valeurs basales chez les coureurs
<b>Ovaires</b>	Oestrogènes	Organes sexuels, tissus adipeux	Développement des organes sexuels féminins et des caractères sexuels secondaires, augmente le stockage des graisses, participe au cycle menstruel	Légère augmentation	Les taux de repos peuvent baisser chez les athlètes de haut niveau

Annexe 7 - Les différentes glandes et hormones de l'organisme

Les minéraux	Chez l'homme	Chez la femme
NaCl	1 - 2mg	
Potassium	0,07 – 0,11g/kg de protéines	
Fer	11mg	11mg (16mg chez femme à pertes menstruelles importantes)
Calcium	950mg	
Magnésium	420mg	360
Zinc	9,4mg	6,5mg
Sélénium	70µg	
Cuivre	1,3mg	1mg
Chrome	50 – 70 µg	
Iode	150µg	

Annexe 8 - RNP des minéraux

Les vitamines	Chez l'homme	Chez la femme
Vitamine B1	1,5mg	1,2mg
Vitamine B2	1,8mg	1,5mg
Vitamine B3	14mg	11mg
Vitamine B5	5,8mg	4.7mg
Vitamine B6	1,8mg	1,5mg
Vitamine B8	50µg	
Vitamine B9	330µg	
Vitamine B12	2,4mg	
Vitamine C	110mg	
Vitamine A	750µg	350µg
Vitamine D	15µg	
Vitamine E	10,5mg	9,9mg
Vitamine K	45µg	

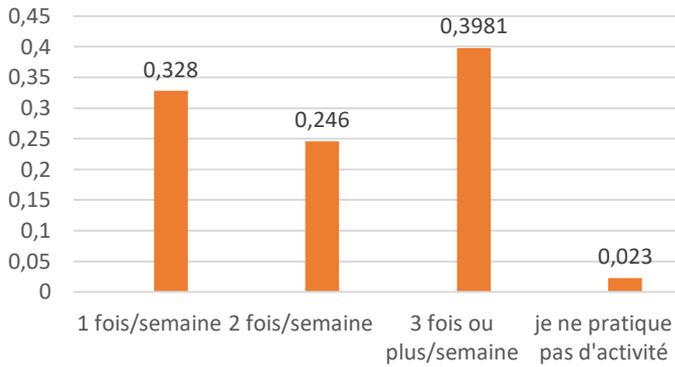
Annexe 9 - RNP pour les vitamines

	Principes	Fonctionnement	Points négatifs	Exemple d'une journée
<b>Régime de Scarsdale</b>	Régime hypocalorique (40% de protéines, 30% de glucides et 20% de lipides)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Première phase de 2 semaines : repas stricts composés de viandes/poissons + légumes sans gras et 2 fois par semaine le repas n'est composé que d'une salade de fruit</li> <li>- Deuxième phase : alimentation faible en graisse et glucides, comme la phase 1 mais avec une possibilité d'aliments plus large, cela pendant 2 semaines</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Production de corps cétoniques.</li> <li>- Entraîne des carences car strict et peu varié.</li> <li>- Aliments fades</li> <li>- Régime déséquilibré</li> <li>- Risque d'effet yoyo accru</li> <li>- Fatigue, troubles digestif, irritabilité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le matin : ½ pamplemousse + 1 tranche de pain grillé + café/thé sans sucre</li> <li>- Midi : dinde ou poulet + tomates/carottes/choux/brocolis + pamplemousse ou fruit de saison</li> <li>- Soir : bifteck grillé + salade/concombre/céleri/tomates/choux de Bruxelles + café ou thé</li> </ul>
<b>Régime de Cambridge</b>	Régime alimentaire par « substitut de repas » composé de vitamines, minéraux et macro-nutriments	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consommation de boissons et de soupes riches en nutriments.</li> <li>- La consommation calorique est extrêmement faible (moins de 800kcal/jour)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Restriction calorique</li> <li>- Développement de calculs biliaires</li> <li>- Productions de corps cétoniques</li> <li>- Une déshydratation intense</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consommation de jus et de soupes à base de fruits et légumes.</li> <li>- 2.25L d'eau/jour</li> <li>- Consommation de tisane ou de thé.</li> </ul>
<b>Régime Mayo Clinique</b>	Régime alimentaire hypocalorique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consommation d'œufs et de légumes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Régime très hypoglucidique, très restrictif</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- - Matin : ½ pamplemousse + 2 œufs durs + café ou thé non sucré</li> </ul>

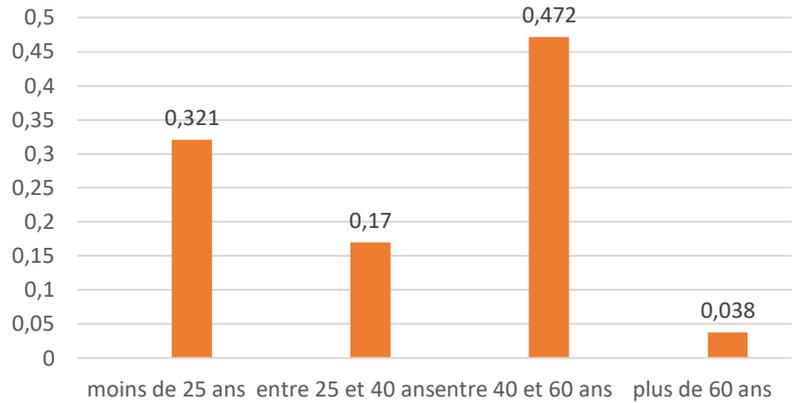
	de 14 jours (menus de 800 à 1000 calories)	pendant 14 jours, régime très stricts	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risque de carences</li> <li>- Effets yoyo important</li> <li>- Apports de cholestérol accru par la consommation importante d'œufs.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Midi : 2 œufs ou 100g de viande + 1 portion de légumes + ½ pamplemousse + café ou thé sans sucre</li> <li>- 2 Œufs + portion de légumes + 1 toast + café ou thé sans sucre</li> </ul>
<b>Régime de Stillman</b>	Régime alimentaire hyperprotéiné	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Régime alimentaire restrictif quotidien riche en protéines et pauvre en glucides et matières grasses.</li> <li>- 3 phases : 1 première très stricte avec bannissement de certains aliments, réintroduits progressivement dans les phases suivantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Production de corps cétoniques</li> <li>- Risque de carences</li> <li>- Apports protéiques importants</li> <li>- Troubles digestifs</li> <li>- Effet yoyo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consommation quotidienne de viandes maigres grillées ou roties et des œufs durs.</li> <li>- Consommation régulière d'eau à hauteur de 2L par jour</li> <li>- Pas de consommation de féculents, de sucre ainsi que des fruits et légumes</li> </ul>

Annexe 10 - Divers régimes alimentaires

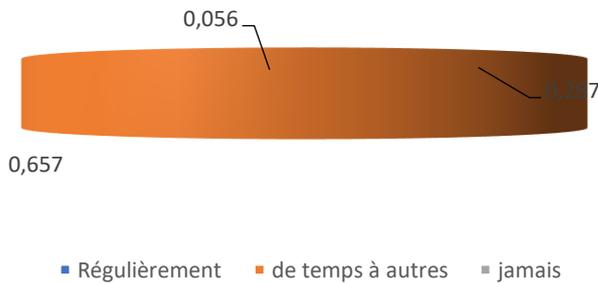
### Combien de fois pratiquez vous une activité physique ?



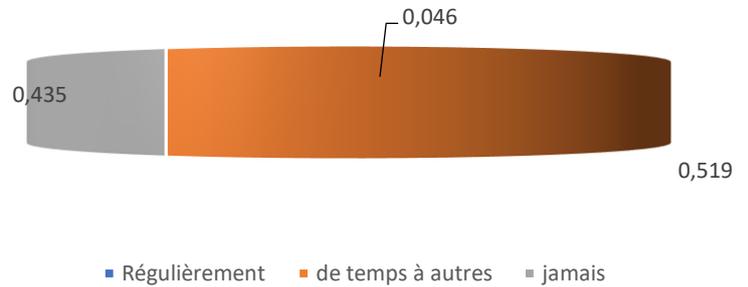
### Quel âge avez-vous ?



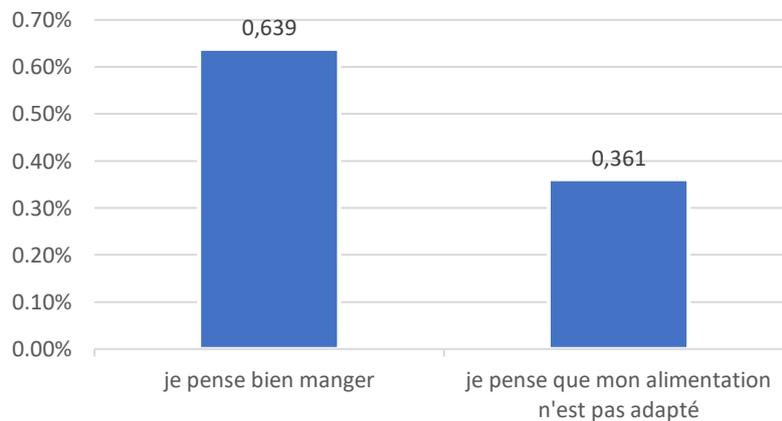
### Vous arrivent-il d'avoir des courbatures après l'effort ?



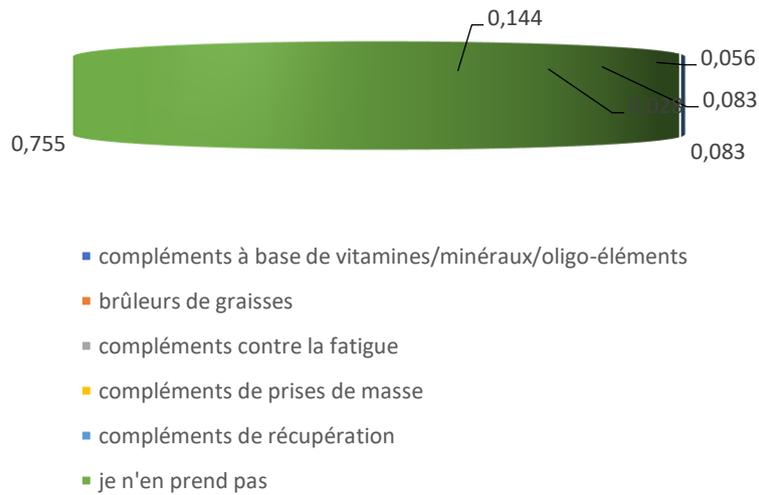
### Vous arrivent-il d'avoir des crampes lors de l'effort ?



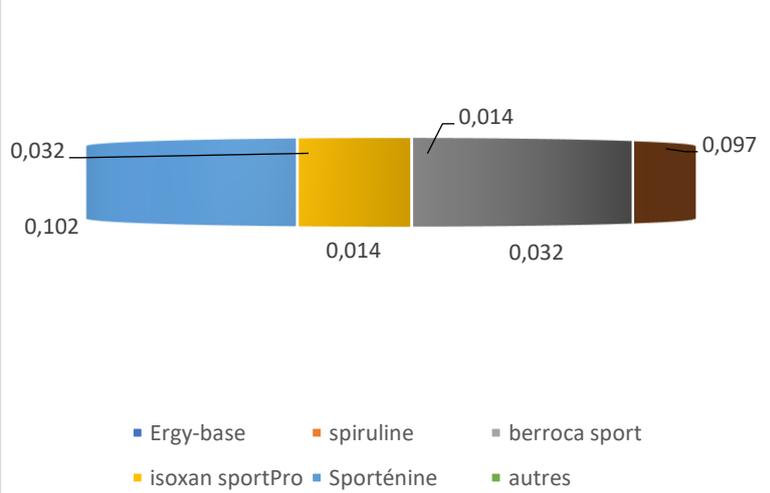
### Que pensez-vous de votre alimentation ?



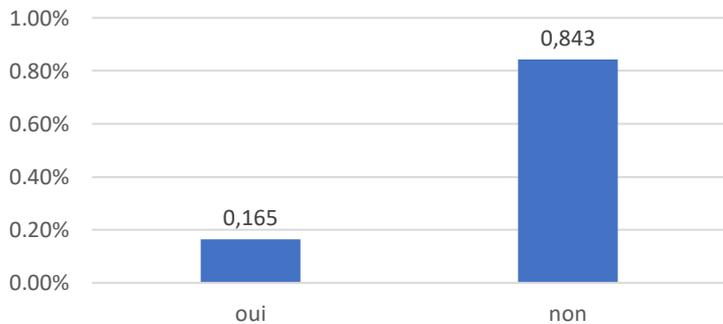
### Quels types de compléments alimentaires consommez-vous ?



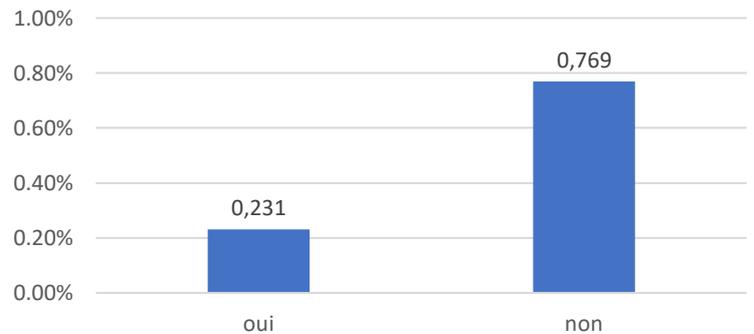
### Quels compléments alimentaires consommez-vous ?



### Avez-vous senti une amélioration de vos performances avec ces compléments ?



### Pourriez-vous aller voir votre pharmacien pour demandé des conseils de nutrition ?



### Où achetez vous vos compléments alimentaires ?



## 12. Serment de Galien :

**Serment de Galien**

*En présence des maîtres de la faculté, des conseillers de l'Ordre des pharmaciens et de mes condisciples, je jure :*

- 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 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 et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine.*

*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.*



## **Résumé :**

L'activité physique n'est pas que la pratique de sport, tout le monde est susceptible est faire de l'activité physique. On retrouve notamment la pratique sportive. Les résultats de cette pratique sont corrélés à une alimentation saine et équilibré. L'activité physique mobilise l'ensemble de la physiologie humaine, que ce soit le fonctionnement musculaire ou encore le système endocrine. Cette activité nécessite des apports alimentaires prépondérant à la réussite de la pratique sportive, peu importe l'objectif. Des recommandations nutritionnelles sont proposées et régulièrement actualisées par l'ANSES, celle-ci suffisent pour la population normale, cependant dans le cadre de sportif, ces recommandations sont à adapter à chaque individu. Le pharmacien est ainsi un interlocuteur de choix pour les sportifs désireux de conseils de nutrition, de par sa disponibilité importante et de par son bagage scientifique.

## **Mots-clés :**

- Nutrition
- Sport
- Pharmacien
- Officine
- Conseils
- Régimes alimentaires
- Performance