

ANNÉE 2018

N° 29

THÈSE
pour le
DIPLÔME D'ÉTAT
DE DOCTEUR EN PHARMACIE

par

Alexis Roussière

Présentée et soutenue publiquement le 17 septembre 2018

**Interrogation sur les suppléments
alimentaires pour sportif et rôle du
pharmacien d'officine**

Président du jury : Monsieur Jean-Marie BARD, Professeur de Biochimie Générale et
Clinique à la faculté de Pharmacie de Nantes

Directeur de thèse : Monsieur Alain PINEAU, Professeur de Toxicologie à la faculté
de Pharmacie de Nantes

Membre du jury : Madame Cassandra JOVENIN, Pharmacien

Remerciements

La lecture de cette thèse débute par mes remerciements. C'est pourtant par ceux-ci que s'est conclue la rédaction de ma thèse. Ces remerciements auront donc un aspect de conclusion, tant sur l'écriture de ce mémoire que sur une partie de ma vie. Il n'est pas évident de trouver les mots prouvant toute la gratitude que j'ai envers des personnes qui ont pu compter dans ma vie et dans ce projet, je vais malgré tout m'y efforcer en essayant de n'oublier personne.

Tout d'abord, je tiens à remercier ma maman qui a tout sacrifié pour que je puisse accéder aujourd'hui à ce doctorat. Merci pour toutes les aides, tous les conseils, toutes les paroles rassurantes durant mon cursus scolaire. Maman, merci aussi pour cette magnifique éducation basée sur le travail, l'honnêteté, la parole donnée, l'amitié, la famille mais aussi sur l'amour des siens. J'espère un jour pouvoir être un père aussi complet aux yeux de mes enfants.

Merci également à mon papa pour cette éducation et cet accompagnement essentiel. Même si la présence des mots fait parfois défaut, je sais l'amour que tu as pour moi.

Merci à Yvon, mon deuxième papa, dont l'arrivée dans la famille n'a pas toujours été facile. Tu sais aujourd'hui à quel point tu comptes pour moi.

Je sais l'importance que peut avoir, pour des parents, la réussite scolaire de leurs enfants. J'espère alors, par ce biais, rendre fiers les miens aujourd'hui.

Merci à toi aussi, Fiona, ma sœur sur qui je peux compter en toutes circonstances.

Annabelle, ma poule : un voyage universitaire, en Angleterre, sur le thème du rugby et de la camaraderie aura été le contexte de notre rencontre. Cette rencontre, certes particulière, est le reflet de notre état d'esprit commun. Aujourd'hui, plus de 4 années sont passées et je peux dire, sans risque et avec fierté, que j'ai vraiment trouvé la femme de ma vie. Merci alors d'être là pour les (très) bons moments, les moins bons, les rires, les folies, les joies, les projets et tout ce qui fait le quotidien d'une vie. Merci aussi à toute ta famille et tes amis qui ont su m'accueillir à bras ouverts.

Je souhaiterais également remercier le rugby, le plus beau sport au monde. Merci d'avoir fait l'homme que je suis aujourd'hui. Je tiens à remercier mon premier club : le Rugby Club Herbretais, et tous ses bénévoles, pour m'avoir appris les valeurs de la vie pendant 10 ans.

Remerciements particuliers aux copains de l'équipe universitaire Santé, avec qui j'ai joué mes plus beaux matchs et mes plus belles finales. Avec qui j'ai fait les meilleures soirées et week-end de ma vie. J'ai pu rencontrer des vrais frères qui resteront dans mon cœur à jamais : Guigui, Fanfan, Cunin, Hubert, Côme, Guidav, Marchalou, Mainlourd, Lavigne, Banban, Greg, Sparfel, Nog, Fournol, Barbu, Vianney, PE, Biotteau, LM, Coindre, Riton, Azerty, Germinator, Paulo, Morpion, Roubin, Aiham, Bretéch', Jeulin, Ouairy, Damien, Gabo, Dollo, Jerem, Dédé, Bonte, Rousseau, Mollé, Swaguineau, Maxence, Yatim, Coco, Etienne, Jean, Dekys, Vegas... Un lourd merci à tous !

Ludovic, Hugo, Simon, Marc, Thomas, Alexis et Benoît : merci à vous pour tous ces moments scolaires (au fond des salles de classe) et extra-scolaires. Nos retrouvailles périodiques, suite à l'arrêt de nos études, prouvent bien notre attachement.

Théo, Thorgal, Romain, Victor, Thibault et Clémence : les années passent (école primaire pour certains, collège ou lycée pour d'autres) mais l'amitié restera à vie. Malgré la distance physique qu'il peut y avoir entre nous, nous ne manquons pas une occasion de nous retrouver. Á vous six : un grand merci pour cette amitié durant toutes ces années et les prochaines à venir.

Julie et Anaïs : un grand merci à vous pour toute la sincérité que vous dégagez et toutes les années à venir de franche amitié. Nous avons trouvé, Annabelle et moi, une vraie deuxième famille sur qui compter en toutes circonstances.

Un grand merci à Cassandra, qui en plus d'être une des meilleures amies que je connaisse, s'est proposée d'elle-même pour faire partie de mon jury de thèse. Nous finirons notre cursus comme il était durant toutes ces années : basé sur l'amitié et la franchise.

Merci au Professeur Jean-Marie Bard d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse en tant que président.

Merci également au Professeur Alain Pineau de m'avoir accompagné dans ce projet depuis le début. Merci pour tous les conseils et les corrections sur la rédaction de cette thèse. Merci également pour votre rapidité et votre efficacité tout au long de l'aventure.

Je finirai ces remerciements par une citation qui me définit parfaitement. Elle provient d'un ancien grand joueur et entraîneur de rugby : Daniel Herrero : « *Reste toi-même, car c'est dans l'authenticité que l'on puise ses forces.* »

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	8
PARTIE I : LE SPORTIF ET SA PHYSIOLOGIE.....	11
1. LE MOUVEMENT : DE LA PHYSIOLOGIE AUX BESOINS ÉNERGÉTIQUES .	13
1.1. LES MUSCLES.....	13
1.1.1. Organisation des muscles squelettiques.....	13
1.1.2. Les fibres musculaires	14
1.2. MÉCANISME DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE	16
1.3. CONTRACTION MUSCULAIRE ET ÉNERGIE	19
1.3.1. La cascade énergétique.....	19
1.3.2. Sources de l'ATP	20
1.3.3. De l'aliment à l'ATP	21
1.4. BESOINS ET DÉPENSES DE L'ORGANISME EN ÉNERGIE	26
2. ADAPTATION PHYSIOLOGIQUE AUX DIFFÉRENTS TYPES DE SPORTS	29
2.1. FIBRES LENTES ET FIBRES RAPIDES	29
2.2. LE SPORTIF.....	30
PARTIE II : DES BASES DE NUTRITION AUX AJOUTS	32
1. LES MACRONUTRIMENTS SOURCE D'ÉNERGIE	34
1.1. LES GLUCIDES	34
1.1.1. Notions générales sur les glucides	34
1.1.2. La glycémie et l'index glycémique.....	37
1.1.3. La charge glycémique.....	38
1.1.4. Rôles des glucides dans l'organisme.....	41
1.2. LES LIPIDES	45
1.2.1. Notions générales sur les lipides.....	45
1.2.2. Rôles des lipides	49
1.2.3. Devenir des lipides stockés	50
1.3. LES PROTÉINES	51
1.3.1. Notions générales sur les protéines.....	51
1.3.2. Les acides aminés	52
1.3.3. Les besoins en protéines	53
1.3.4. Les sources de protéines.....	55
2. LES MICRONUTRIMENTS.....	59
2.1. LES MINÉRAUX	60
2.1.1. Les éléments majeurs.....	60

2.1.1.1. Le sodium	60
2.1.1.2. Le potassium	61
2.1.1.3. Le calcium.....	63
2.1.1.4. Le magnésium	63
2.1.2. Les éléments plastiques	64
2.1.2.1. Le phosphore.....	64
2.1.2.2. Le soufre.....	65
2.1.3. Les oligoéléments.....	66
2.2. LES VITAMINES.....	70
2.2.1. Les vitamines liposolubles.....	71
2.2.1.1. Vitamine A.....	71
2.2.1.2. Vitamine D.....	73
2.2.1.3. Vitamine E	74
2.2.1.4. Vitamine K.....	74
2.2.2. Les vitamines hydrosolubles	75
2.2.2.1. Vitamine C.....	75
2.2.2.2. Vitamine B1.....	76
2.2.2.3. Vitamine B2.....	77
2.2.2.4. Vitamine B3.....	77
2.2.2.5. Vitamine B5.....	78
2.2.2.6. Vitamine B6.....	79
2.2.2.7. Vitamine B8.....	80
2.2.2.8. Vitamine B9.....	80
2.2.2.9. Vitamine B12.....	81
3. L'HYDRATATION	82
3.1. PRÉSENTATION ET ROLES DE L'EAU, LES DIFFÉRENTS FLUX HYDRIQUES DE L'ORGANISME	83
3.2. PROTOCOLE D'HYDRATATION.....	85
4. CONCLUSION SUR LES BASES DE NUTRITION DU SPORTIF.....	87

PARTIE III : DES AJOUTS NUTRITIONNELS AUX PRODUITS DOPANTS

92

1. LES COMPLÉMENTS ALIMENTAIRES : JUSTIFICATION ET PRÉSENTATION .	94
1.1. LES BESOINS NUTRITIFS LORS DES DIFFÉRENTES PHASES D'ACTIVITÉS D'UN SPORTIF	94
1.1.1. Avant l'entraînement	94
1.1.2. Pendant l'entraînement	96
1.1.3. Après l'entraînement	97
1.2. LES COMPLÉMENTS ALIMENTAIRES.....	98

1.2.1. Les boissons d'hydratation.....	99
1.2.2. Les barres et gels énergétiques.....	101
1.2.3. Les poudres de protéines.....	102
1.2.3.1. Notions générales sur les poudres de protéines	102
1.2.3.2. La Whey.....	103
1.2.3.3. La caséine	105
1.2.3.4. Les protéines d'œuf	107
1.2.3.5. Les protéines de soja.....	108
1.2.3.6. Conclusion sur les poudres de protéines.....	109
1.2.4. Les acides aminés branchés (BCAA)	111
1.2.5. Les compléments de vitamines, minéraux et antioxydants	111
1.2.6. La caféine.....	112
1.2.7. La créatine	113
1.2.8. L'arginine	114
1.2.9. La carnitine	115
1.2.10. La glutamine.....	116
1.2.11. Les plantes et la gelée royale.....	117
1.2.11.1. Le ginseng.....	117
1.2.11.2. L'éleuthérocoque	118
1.2.11.3. Le guarana	119
1.2.11.4. L'acérola	119
1.2.11.5. Le curcuma	120
1.2.11.6. La spiruline	120
1.2.11.7. La gelée royale.....	121
2. LES PRODUITS DOPANTS.....	122
2.1. PRÉSENTATION DU DOPAGE.....	122
2.2. CLASSEMENT DES PRODUITS DOPANTS	123
2.2.1. Substances (S) et méthodes (M) interdites en permanence (en et hors compétition)	123
2.2.1.1. S0 – Substances non approuvées.....	123
2.2.1.2. S1 – Agents anabolisants	124
2.2.1.3. S2 – Hormones peptidiques, facteurs de croissance, substances apparentées et mimétiques.....	124
2.2.1.4. S3 – Bêta-2 agonistes	127
2.2.1.5. S4 – Modulateurs hormonaux et métaboliques.....	127
2.2.1.6. S5 – Diurétiques et agents masquants	129
2.2.1.7. M1 – Manipulation de sang ou de composants sanguins	130
2.2.1.8. M2 – Manipulation chimique et physique.....	130
2.2.1.9. M3 – Dopage génétique.....	130
2.2.2. Substances (S) et méthodes (M) interdites en compétition.....	131
2.2.2.1. S6 – Stimulants.....	131

2.2.2.2. S7 – Narcotiques	131
2.2.2.3. S8 – Cannabinoïdes	132
2.2.2.4. S9 - Glucocorticoïdes.....	132
2.2.3. Substances interdites dans certains sports.....	133
2.2.3.1. P1 – Bêtabloquant.....	133
2.2.3.2. L'alcool, nouvelle réglementation	133

PARTIE IV : LE SPORTIF FACE AUX COMPLÉMENTS ALIMENTAIRES..... 135

1. COMPARATIF DES MARQUES DE COMPLÉMENTS ALIMENTAIRE RENCONTRÉES PAR LE SPORTIF AMATEUR..... 137

1.1. COMPARATIF DES BOISSONS DE RÉHYDRATATION	137
1.1.1. Les boissons énergétiques	138
1.1.2. Les boissons de récupération.....	140
1.2. COMPARATIF DES BARRES ET GELS ÉNERGÉTIQUES	141
1.2.1. Les barres énergétiques	142
1.2.2. Les gels énergétiques	143
1.3. COMPARATIF DES WHEY PROTÉINES.....	144

2. INTÉGRER CES COMPLÉMENTS ALIMENTAIRES AUX OBJECTIFS DU SPORTIF, CONSEILS ASSOCIÉS..... 148

2.1. OBJECTIF DE PRISE DE MASSE MUSCULAIRE	149
2.2. OBJECTIF DE MAINTIEN DE LA MASSE MUSCULAIRE AVEC PERTE DE MASSE GRASSE	150
2.3. OBJECTIF DE CROISSANCE MUSCULAIRE POUR SPORTIF AFFÛTÉ	151
2.4. OBJECTIF DE RÉALISATION D'UN EFFORT DE MOINS DE 4H.....	152
2.5. OBJECTIF DE RÉALISATION D'UN EFFORT DE PLUS DE 4H	153

3. LE PHARMACIEN FACE AUX SPORTIFS 155

3.1. RÔLE DU PHARMACIEN DANS LE CONSEIL NUTRITIONNEL DU SPORTIF.....	155
3.2. LE PHARMACIEN FACE AUX TROUBLES DU COMPORTEMENT ALIMENTAIRE DU SPORTIF	156
3.3. LE PHARMACIEN FACE AU DOPAGE.....	158

CONCLUSION..... 161

ANNEXES 163

TABLE DES ILLUSTRATIONS	166
-------------------------------	-----

TABLE DES TABLEAUX	167
--------------------------	-----

ABRÉVIATIONS	169
--------------------	-----

INTRODUCTION

L'activité physique a pris une place prépondérante dans notre vie moderne. Source de divertissement ou de dépense physique, elle a su trouver sa place dans une société où l'apparence et les loisirs prennent des places de plus en plus importantes.

Pour certains un simple passe temps, une véritable source d'extériorisation mentale ou encore un outil de santé ; pour d'autres elle est au centre de leur vie et de chaque acte, les choix ou les planifications sont réfléchis pour optimiser ou alors ne pas pénaliser leurs objectifs.

On parle alors de « sport ». Si on se réfère à la simple définition d'un dictionnaire nous avons « *ensemble des exercices physiques se présentant sous forme de jeux individuels ou collectifs donnant généralement lieu à compétition, pratiqués en observant certaines règles précises* » mais aussi « *activité physique visant à améliorer sa condition physique* »¹. Nous constatons donc qu'il y a plusieurs façons de concevoir le sport et donc autant de manières de le pratiquer.

Le sport étant en étroite lien avec la santé, il est donc logique de retrouver ses aspects dans une officine. L'officine est un lieu de préparation, de commande, de dispensation des médicaments et autres produits de santé. Depuis quelques années, les gammes accessibles au public et sans ordonnance se sont de plus en plus développées. Les gammes sportives sont devenues incontournables, plaçant même le pharmacien comme l'un des premiers contacts pour tout renseignement sur ce point.

Le pharmacien est le professionnel de santé le plus accessible, disponible sans rendez vous six jours sur sept, et cela, sur des amplitudes horaires importantes. Avec près de 22 000 pharmacies en France, toute personne peut entrer en contact avec un pharmacien dans un but d'écoute et de conseils.

La nutrition est passée également d'anecdotique à la véritable base dans la pyramide de l'effort physique et la course aux performances. Il est donc naturel de trouver des produits en lien avec ces aspects dans une pharmacie.

Étant personnellement un grand sportif (rugby, cross-fit, musculation, cyclisme, ect.) et intégré depuis 2011, en tant qu'étudiant, à l'apprentissage d'un métier de santé, j'ai pu être sollicité un grand nombre de fois par d'autres sportifs. Dans le but de les éclairer sur l'intérêt de *tel ou tel* complément, *telle ou telle* méthode de travail, *tel ou tel* régime et sur les éventuels risques associés à ces produits ou d'autres produits illicites.

C'est face à ces demandes, dont je n'avais parfois pas de réponse claire à fournir, que m'est venue l'idée de rédiger ma thèse sur la nutrition sportive. L'objectif de cette thèse est donc de fournir une base sur la nutrition sportive et sur les compléments alimentaires, pour tout sportif ou même pour d'autres professionnels de santé.

Ainsi je développerai dans un premier temps les aspects d'un sportif et sa physiologie. Je reviendrai sur l'organisation des mouvements, des muscles et sur l'utilisation de l'énergie en ce sens. Nous pourrons alors présenter les besoins et les dépenses de l'organisme, ce qui permettra de justifier les différents apports alimentaires.

Nous verrons dans la deuxième partie les bases de nutrition avec, d'une part l'apport des macronutriments qui sont la véritable source d'énergie puis, nous verrons l'importance des micronutriments et enfin celle de l'hydratation. Suite à quoi cela me permettra de justifier l'intérêt des compléments alimentaires. Je présenterai ces différents compléments

¹ Dictionnaire Larousse, 2018.

alimentaires, leurs rôles dans l'organisme, leurs rôles dans les différents objectifs sportifs, et leurs éventuels risques pour l'organisme. Je parlerai également des ajouts, pour le sportif, de produits illicites : les produits dopants.

Enfin dans la dernière partie, nous verrons les différentes marques des compléments alimentaires où je ferai un comparatif qualitatif et financier sur ceux-ci. En second temps, je présenterai comment les intégrer aux demandes et objectifs des sportifs, et quels conseils y associer.

PARTIE I

LE SPORTIF ET

SA

PHYSIOLOGIE

Le sportif est une personne pratiquant une activité physique régulière, il en existe bien sûr de tout type. Nous aurons des sportifs plutôt amateurs qui vont réaliser une activité physique afin de se divertir, se dépenser, se donner des objectifs ; et nous aurons des sportifs de haut niveau qui vont réaliser une activité physique *quasi* quotidienne et de manière plus intense. Ces derniers vont régler leur quotidien, leur alimentation, leur sommeil en fonction du travail fourni, des objectifs attendus ou réalisés (compétition).

Ainsi, la manière d'aborder la nutrition ne va pas être identique pour ces deux populations. Pour la première, il va s'agir d'un aspect dont le calcul des quantités et des enjeux est parfois mis de côté, ponctuel ou alors erroné. Pour le second groupe, cet aspect est essentiel. Il va permettre de mieux s'entraîner, mieux récupérer, progresser et briller en compétition. Ainsi chaque aspect est mesuré et bien connu.

Chaque sport n'est pas identique. Il existe plusieurs types de sports : d'endurance, de force, d'agilité, d'esthétisme ou encore mêlant chaque aspect. C'est pour cela que la prise en charge ne va pas être identique pour toute personne. Il convient alors de connaître comment notre organisme fonctionne, pourquoi et par quels substrats afin d'en conclure sur les besoins de base pour tout type de personne et si une augmentation des apports est justifiée et nécessaire.

Selon le ministère des sports, *et ses enquêtes de 2015*², 65% de la population pratique au moins une activité physique ou sportive par semaine, avec en tête la marche de loisir (27,8 millions de pratiquants), la natation de loisir (12,7 millions), le vélo de loisir (11,8 millions). De plus, le nombre de licenciés, toutes disciplines confondues s'élève à 16 millions de personnes dont 36,8% de femmes. On retrouve en tête les licenciés la fédération de football (près de 2 millions de personnes), la fédération de tennis (1,1 millions de personnes) et la fédération d'équitation (700 000 personnes). Les sportifs de haut niveau représentent près de 15 000 sportifs dont 36% de femmes.

Nous nous rendons compte que la majorité de la population pratiquant une activité est en réalité représentée par des amateurs. De plus, les sportifs de haut niveau sont suivis très tôt et de manière optimale par des coaches, des préparateurs physiques, des nutritionnistes en ce qui concerne les sujets de nutrition et d'optimisation de l'effort.

Ainsi, notre population cible sera les sportifs plus amateurs, souvent moins sensibilisés à ces aspects et auprès desquels le rôle de conseil du pharmacien est primordial. Il va s'agir de conseils visant à répondre à leurs attentes (progression, maintien de l'effort) mais aussi à éviter les erreurs en combattant les idées reçues, le charlatanisme et ainsi veiller à la sécurité de leur état de santé.

Nous verrons alors dans un premier temps la physiologie du mouvement : quels sont les tissus, les organes et les mécanismes du corps humain qui aboutissent à la contraction musculaire et au mouvement. Nous verrons quelle énergie est utilisée par l'organisme pour ces actions et comment l'organisme se recharge en cette énergie, quelles en sont les sources et en quelle quantité. Nous verrons alors les besoins et les dépenses de l'organisme. Enfin, nous nous intéresserons à l'adaptation physiologique face aux différents types de sports afin de conclure sur la différence des besoins énergétiques pour les différentes catégories de sport.

² http://www.sports.gouv.fr/IMG/pdf/chiffres-cles_du_sport_2015.pdf

1. LE MOUVEMENT : DE LA PHYSIOLOGIE AUX BESOINS ENERGETIQUES

Le corps humain est une véritable machine avec ses rouages et ses étapes pour aboutir à des mouvements ou simplement au fonctionnement métabolique. Afin de prendre en charge de manière optimale chaque sportif, il est important de connaître ces processus, les tenants et aboutissants de la contraction musculaire.

1.1. LES MUSCLES

Les muscles interviennent constamment, que ce soit pour bouger un membre ou toute une partie de notre corps, respirer, digérer, pour faire battre le cœur... Il en existe trois types :

- Les **muscles lisses**. Leur stimulation est inconsciente, involontaire, indépendante de notre volonté. Nous les retrouvons dans les vaisseaux sanguins, le tube digestif ou encore dans les sphincters de la vessie.
- Les **muscles cardiaques**. Comme leur nom l'indique ils constituent une grande partie du cœur. Leur stimulation est comme pour le muscle lisse, indépendante de la volonté.
- Les **muscles squelettiques**. Ils sont responsables des mouvements volontaires, ils s'insèrent au squelette pour permettre la mobilisation de celui-ci.

Dans le cadre de la pratique sportive, nous allons nous intéresser plus particulièrement aux muscles squelettiques qui sont les muscles majoritairement sollicités lors d'un effort.

1.1.1. Organisation des muscles squelettiques

L'activité physique demande une mobilisation du corps et est donc dépendante des muscles, en particulier les muscles squelettiques. Chaque muscle est constitué d'un ensemble de parties, notamment de fibres musculaires. Ces fibres musculaires sont organisées en paquets enveloppés dans une gaine par du tissu conjonctif. Ces paquets sont appelés faisceaux de fibres musculaires.

Les **fibres musculaires** sont des cellules à plusieurs noyaux contrairement à la majorité des cellules de notre organisme qui n'en possède qu'un seul. Chaque extrémité de la fibre fusionne avec le tendon qui s'insère sur l'os. Ainsi, la contraction de ces fibres provoque le mouvement en tirant sur les tendons (*Figure 1*).

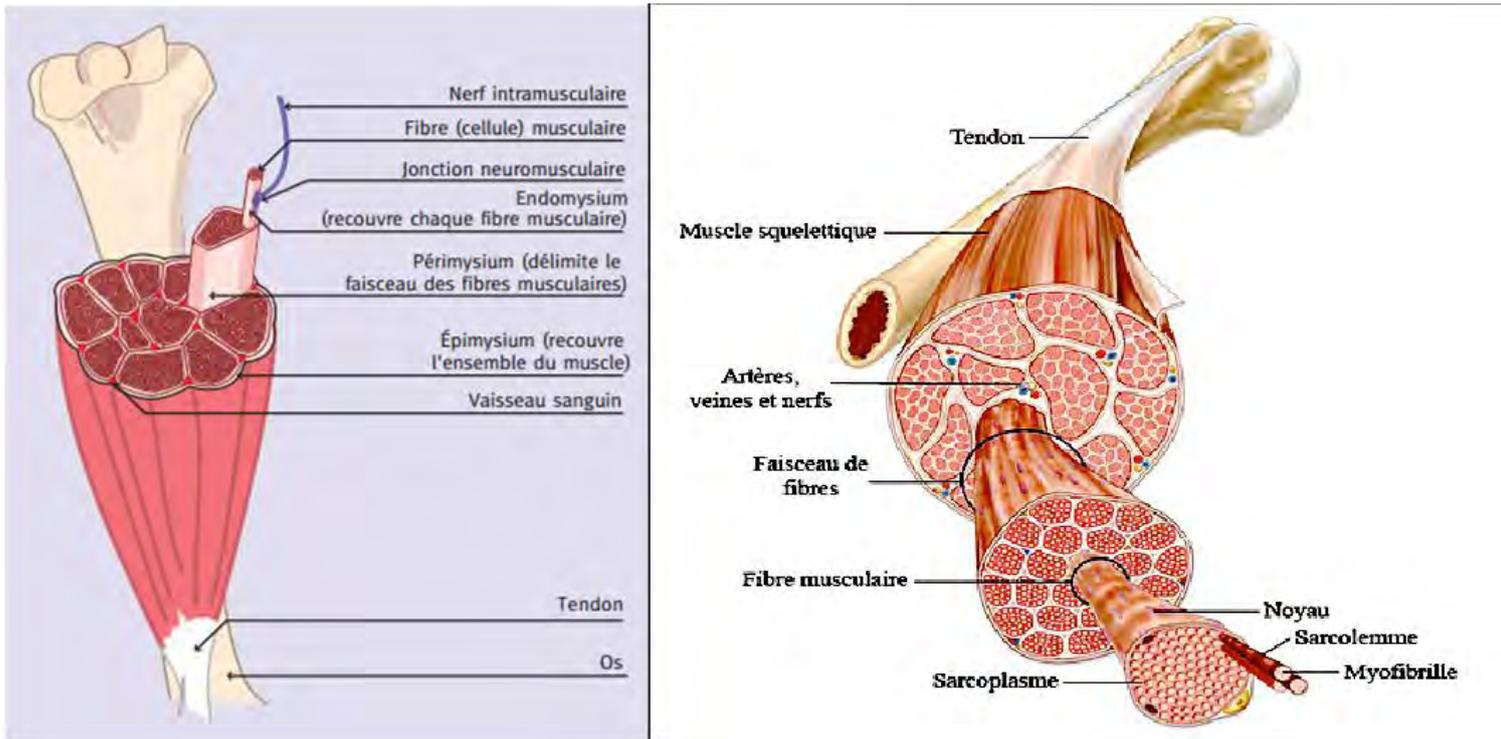


Figure 1 : Anatomie de base d'un muscle squelettique³

1.1.2. Les fibres musculaires

Ces fibres musculaires sont constituées de plusieurs parties :

- **L'endomysium, le pérmysium et l'épimysium** : ce sont des couches de tissus conjonctifs qui entourent les différentes parties du muscle squelettique.
- **Le sarcolemme** : membrane plasmique qui entoure la fibre. Dans ce sarcolemme, on retrouve les cellules satellites qui sont impliquées dans la croissance et le développement du muscle. Ce sarcolemme va avoir des extensions dans le sarcoplasme : **les tubules** transverses qui vont permettre la bonne connexion du muscle. Ainsi, les impulsions nerveuses vont se propager dans tout le muscle et cela va également être une voie de communication pour les différentes substances qui vont entrer et sortir de la fibre.
- **Le sarcoplasme** : c'est le cytoplasme. Il contient des protéines, des minéraux, du glycogène, des graisses ainsi que les organites de la cellule. Comparativement au cytoplasme des cellules, nous aurons ici la présence d'une grande quantité de glycogène ainsi que de la myoglobine qui va permettre de fixer l'oxygène.

³ www.afm-telethon.fr/sites/default/files/le_muscles_suelettique_0306.pdf

- **Le réticulum sarcoplasmique** : il s'agit d'un véritable réseau longitudinal entre les tubules transverses. Ces canaux entourent les myofibrilles, ils sont un lieu de stockage du calcium impliqué dans la contraction musculaire.

- **Les sarcomères** : c'est l'unité fonctionnelle du muscle. Ils sont accolés entre eux et forment ainsi **les myofibrilles**. Il s'agit d'une partie contenant beaucoup de striations. Un sarcomère est présent entre deux stries Z, il comprend : deux bandes I (zone claire) de chaque côté, une bande A (zone sombre) traversée en son centre par la bande H (plus claire) visible quand les myofibrilles sont relâchées. Ces sarcomères sont en fait une alternance de **filaments d'actine** et de **filaments de myosine** qui, en fonction de leur position, vont donner des épaisseurs, et donc des bandes, plus ou moins claires. Dans une myofibrille, on retrouve en moyenne 3000 filaments d'actine et 1500 filaments de myosine. La contraction correspond à un raccourcissement du sarcomère car les filaments d'actine et de myosine vont coulisser entre eux.

- **Les filaments de myosine** : ils sont chacun composés en moyenne de 200 molécules de myosine. Ces molécules sont entrelacées entre elles et sont composées d'une tête (tête de myosine). Chaque tête ressort du filament de myosine dans toute sa longueur. Ces têtes vont avoir un rôle essentiel lors de la contraction, elles permettent le lien entre les filaments de myosine et d'actine.

- **Les filaments d'actine** : ils sont accrochés à la strie Z du sarcomère d'un côté tandis que l'autre côté va interagir avec les filaments de myosine. Sur ces filaments d'actine, on va retrouver des sites sur lesquels les têtes de myosine vont s'attacher et interagir. Les molécules d'actine sont placées en rangée de perles, deux chaînes sont alors torsadées. Ces filaments d'actine contiennent également de la **tropomyosine** et de la **troponine** qui entourent les torsades d'actine. Ces molécules vont permettre, avec le calcium, le relâchement ou la contraction de la myofibrille.

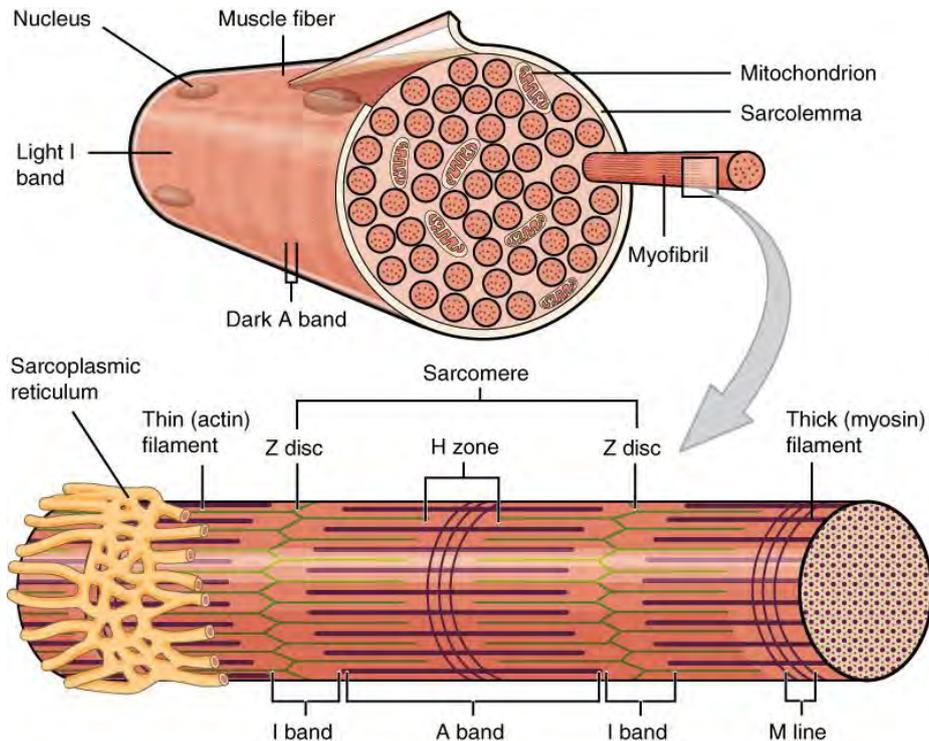


Figure 2 : Coupe transversale d'une fibre musculaire, et, d'une myofibrille⁴

Ces simples cellules reliées à l'os pourront engendrer un mouvement, c'est le jeu de la contraction musculaire.

1.2. MECANISME DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

Cette contraction est débutée par une **stimulation nerveuse**, provenant du système nerveux central, arrivant via les nerfs au niveau du sarcolemme. Quand la stimulation nerveuse arrive au niveau terminal du nerf (le bouton synaptique) il va y avoir une sécrétion de neurotransmetteurs d'acétylcholine qui vont se fixer sur leurs récepteurs à la surface du sarcolemme. Quand la quantité seuil suffisante d'acétylcholine fixée est atteinte, il y a apparition d'un **signal électrique** prolongeant celui des nerfs qui a été obtenu par l'ouverture de canaux ioniques membranaires (entrée de sodium dans la cellule).

Ce signal électrique se propage donc dans la cellule par le réseau des tubules transverses et par le réticulum sarcoplasmique, il va permettre de débiter les étapes de la contraction musculaire en provoquant une libération des ions calcium du réticulum. En effet, à l'état de repos musculaire, les molécules de tropomyosine masquent les sites des filaments d'actine à l'endroit où les filaments de myosine se fixent et interagissent. Quand ces ions calcium sont libérés par le réticulum sarcoplasmique ils vont se fixer sur la troponine du filament d'actine qui possède une grande affinité pour ces ions, cette troponine va alors faire basculer les molécules de tropomyosine et ainsi libérer les sites actifs du filament d'actine qui interagissent avec la myosine.

⁴ www.lecturio.de/magazin/muskel-physiologie

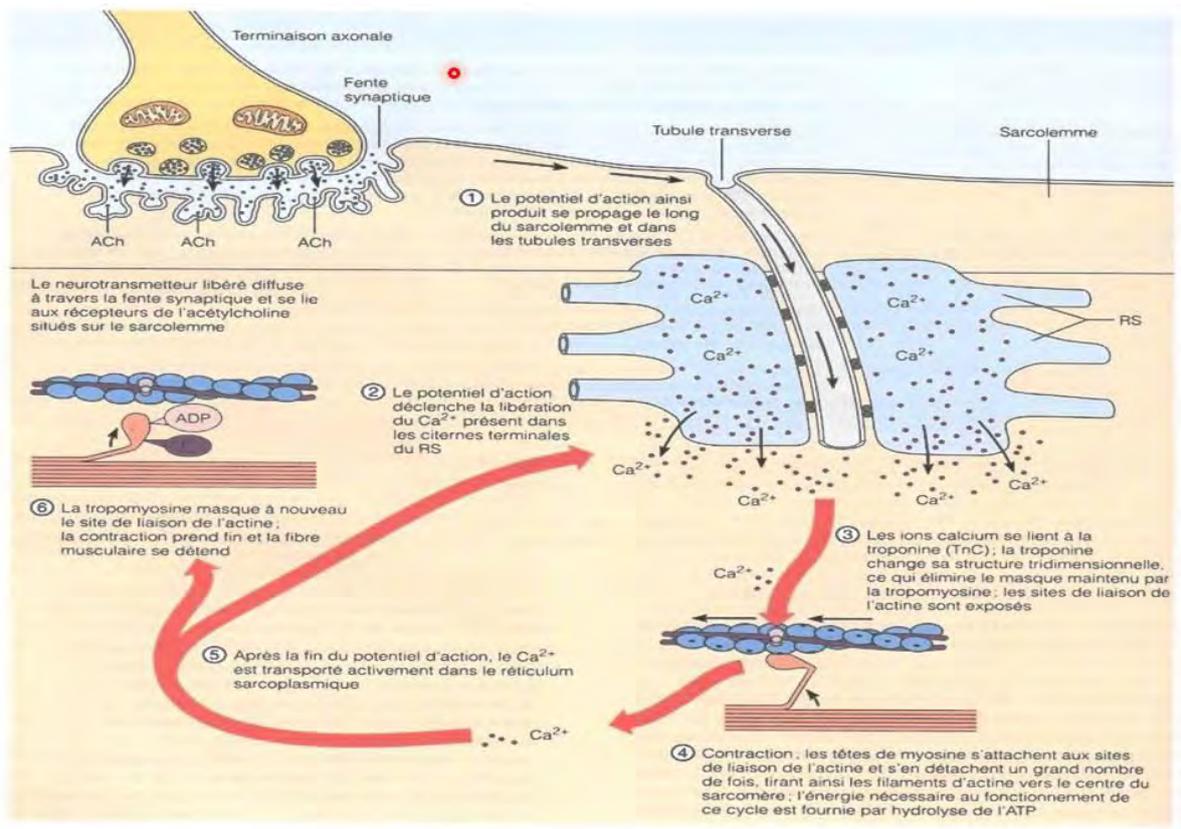


Figure 3 : Les étapes aboutissant à la contraction musculaire⁵

Nous avons vu que la contraction était due à un raccourcissement du sarcomère (et donc du muscle). Quand les sites actifs des filaments d'actine sont libérés, les têtes de myosine se fixent dessus et forment un **pont d'actine-myosine** et ces deux filaments vont glisser l'un sur l'autre. La liaison du pont possède une attraction moléculaire très forte et aboutit au basculement de la tête de myosine vers le centre du sarcomère ce qui va entraîner le filament d'actine.

Si on observe la contraction par le mouvement des bandes du sarcomère, *in fine*, les extrémités distales des filaments de myosine vont atteindre les stries Z. Ainsi les filaments d'actine opposés d'un même sarcomère se rapprochent l'un de l'autre dans la zone H jusqu'à faire "disparaître" cette zone (Figure 4).

⁵ www.youtube.com/watch?v=p6-LXb0zwQA

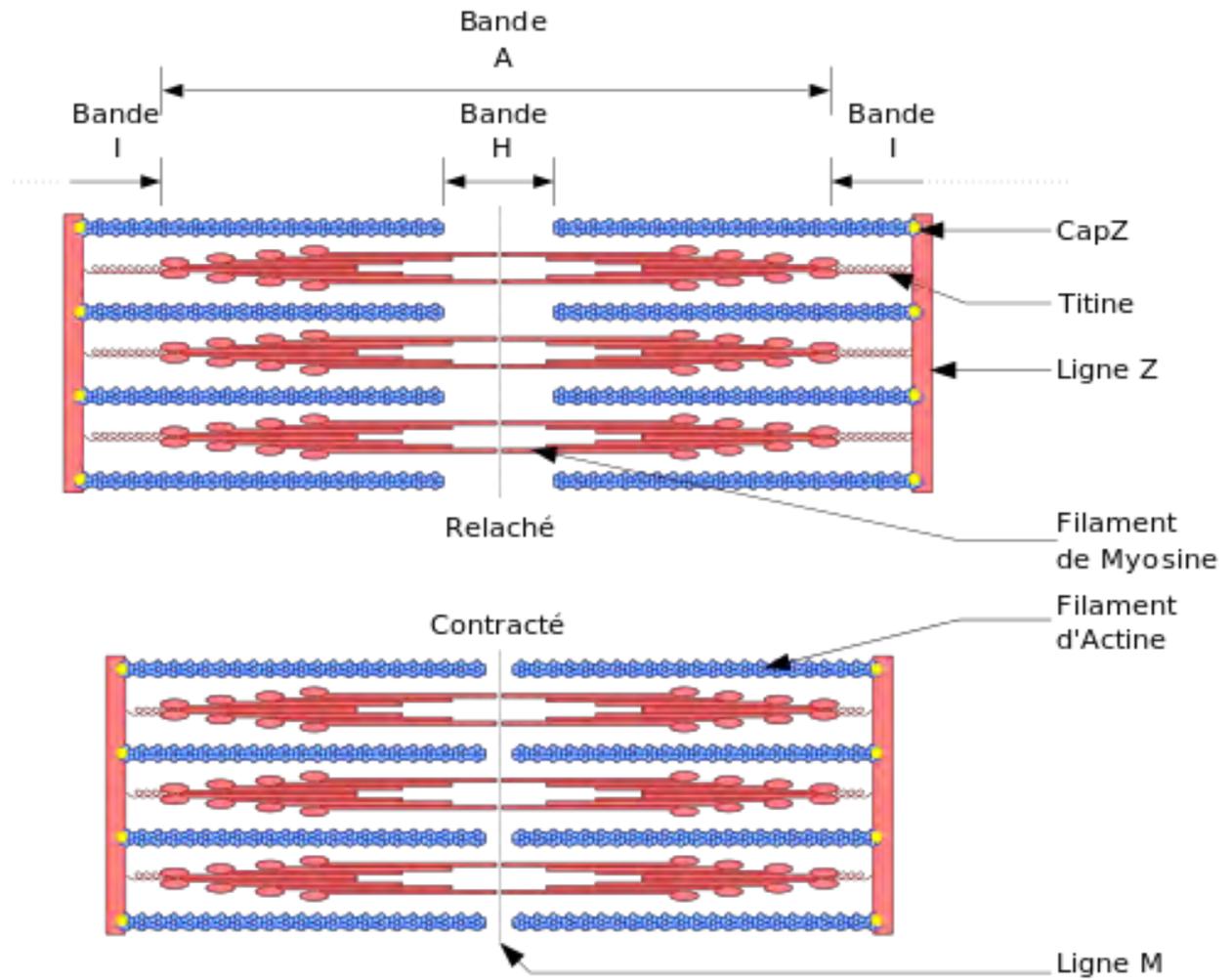


Figure 4 : Schéma de contraction d'un sarcomère⁶

Nous avons donc un raccourcissement des sarcomères provoquant un raccourcissement des myofibrilles et des fibres du faisceau musculaire aboutissant à une contraction musculaire architecturée.

⁶ www.study.com/academy/lesson/the-sarcomere-and-sliding-filaments-in-muscular-contraction-definition-and-structures.html

1.3. CONTRACTION MUSCULAIRE ET ENERGIE

1.3.1. La cascade énergétique

La contraction musculaire est donc un **processus actif**, elle nécessite de l'énergie. **L'adénosine triphosphate (ATP) fournit l'énergie indispensable à la contraction.** À la surface de la tête de myosine, une enzyme (l'ATPase) catalyse la transformation de l'ATP en ADP+Pi libérant ainsi de l'énergie. Cette catalyse correspond à une réaction d'hydrolyse. Cette énergie est utilisée pour lier la tête de myosine au filament d'actine. Suite à cette étape, il va y avoir un basculement de la tête de myosine vers le centre du sarcomère, ce qui va faire raccourcir celui-ci et donc provoquer la contraction (*Figure 3 et Figure 5*).

La fixation d'une nouvelle molécule d'ATP sur la tête de myosine entraîne la dissociation du complexe actine-myosine et un nouveau cycle peut alors commencer (si l'ATP n'est pas renouvelé, les têtes de myosine ne se détachent pas de l'actine et la fibre musculaire reste contractée). Une cellule musculaire en action renouvelle la totalité de son ATP environ une fois par minute. Cela représente 10 millions de molécules d'ATP utilisées et régénérées chaque seconde par la cellule.

De plus, tant que le calcium est présent dans le cytoplasme de la fibre musculaire, la contraction musculaire va se poursuivre. Pour l'arrêt de la contraction, le calcium est repompé par le réticulum sarcoplasmique où il est à nouveau stocké jusqu'à l'arrivée d'un nouvel influx nerveux en vue d'une nouvelle contraction. C'est par une pompe à calcium, un système actif consommant de l'ATP, que le calcium regagne le réticulum sarcoplasmique. La concentration en calcium diminuant, il va y avoir une dissociation du calcium et de la troponine et ainsi la tropomyosine recouvre à nouveau les sites actifs de l'actine empêchant la liaison actine-myosine (*Figure 3*).

Les deux phases de contraction et de relâchement musculaire nécessitent donc de l'énergie, apportée par l'ATP.

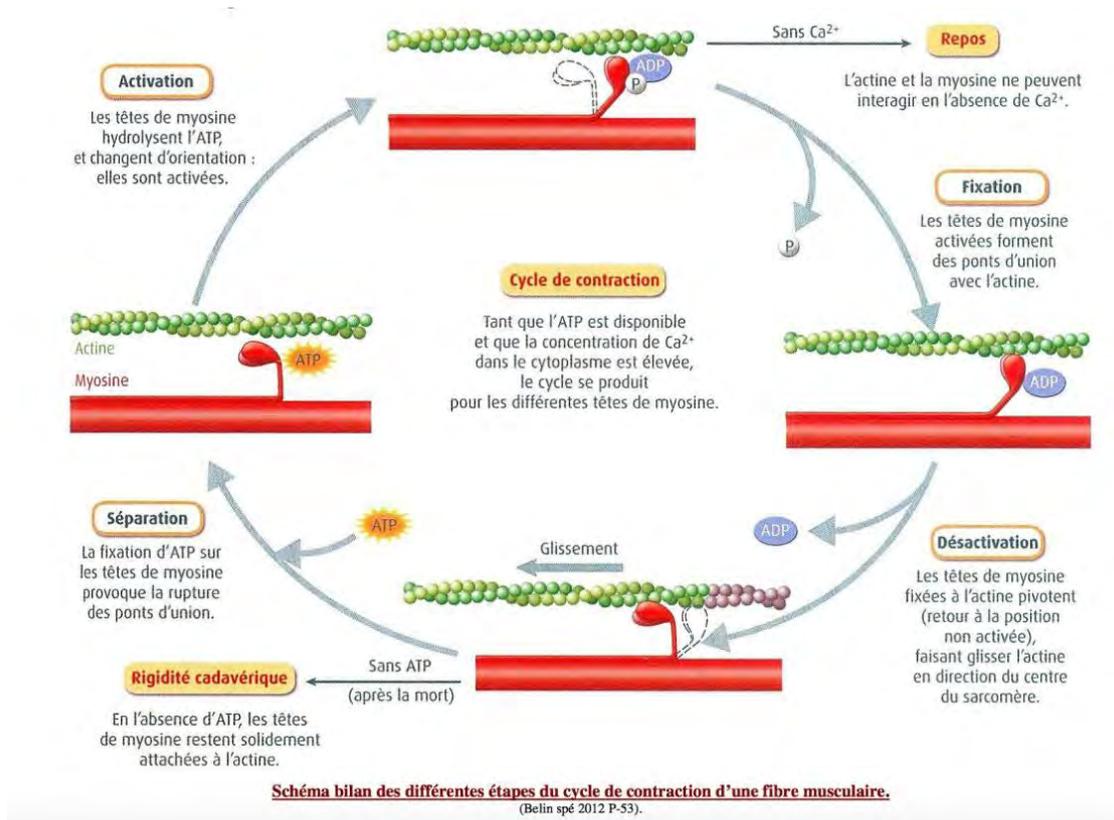


Figure 5 : Les étapes moléculaires du cycle de la contraction musculaire⁷

1.3.2. Sources de l'ATP

Nous avons donc bien constaté que cette énergie sous forme d'ATP est indispensable. Mais alors d'où vient cette ATP ?

L'énergie est stockée dans nos aliments sous forme de glucides, lipides et protéines. Ces trois substrats énergétiques vont être dégradés dans nos cellules et ainsi libérer de l'énergie. L'énergie contenue dans ces différents substrats est libérée lors de la rupture des liaisons chimiques. Cependant, ces liaisons sont relativement faibles et leur rupture ne génère que peu d'énergie. Les aliments ne sont donc pas utilisés directement pour le fonctionnement cellulaire, mais leur énergie est libérée sous forme chimique et est stockée dans nos cellules sous la forme de l'ATP.

Un adulte produit et consomme, au repos, environ 40 Kg d'ATP par jour. L'énergie des molécules d'ATP se concentre dans leurs liaisons anhydride d'acide entre leurs groupements phosphate. Leurs hydrolyses vont libérer environ 8 Kcal/mol d'ATP. Cependant, la totalité de l'énergie absorbée n'est pas transformée en ATP. La moitié de l'énergie qui est métabolisable est directement convertie en chaleur (l'être humain est dit **homéotherme**, c'est-à-dire que le milieu intérieur de notre organisme conserve une température corporelle constante indépendamment du milieu extérieur, avec une obligation de température corporelle fonctionnelle proche de 36,5°C à 37°C au repos). Une autre partie de l'énergie métabolisable est utilisée pour les processus de stockage,

⁷ <http://fibresmusculaires.com/Partie%20II.html>

de transformation d'acides aminés en protéines... Au total seul 40% de l'énergie des aliments est transformée en ATP, il faudra donc en apporter plus par rapport à ce qui est finalement produit.

Tous les aliments n'ont évidemment pas la même teneur ou capacité à apporter de l'énergie. Cette **capacité énergétique des aliments** est définie par leur pouvoir calorifique physique (c'est-à-dire la valeur d'augmentation de température donnée par la combustion de ce composé). Ainsi, les glucides et les lipides ont un pouvoir calorifique de 4,1 Kcal par gramme de glucide, contre 9,4 Kcal par gramme de lipide, ces deux groupes de composés (glucides et lipides) sont totalement oxydés en CO₂ et H₂O par l'organisme. En revanche, les protéines sont constituées d'acides aminés différents, elles n'ont donc pas le même pouvoir calorifique, en moyenne ce sera 4,25 Kcal par gramme de protéine. L'azote contenu dans les acides aminés ne peut pas être totalement oxydé par l'organisme. Ainsi, le pouvoir calorifique physique (théorique) n'est pas le même que le pouvoir calorifique physiologique. Cet azote non utilisé sera transformé en urée en vue d'être éliminé par les reins.

Ces trois types de substrats seront présentés et détaillés dans la partie II.

1.3.3. De l'aliment à l'ATP

Nous allons maintenant voir comment ces substrats « alimentaires » donnent de l'énergie moléculaire pour le fonctionnement de l'organisme et ainsi nous intéresser à la transformation et à la production d'énergie.

Les glucides, les lipides et les protéines apportés par l'alimentation vont donc être oxydés dans notre organisme et l'énergie qui en est libérée va être transformée sous forme d'ATP.

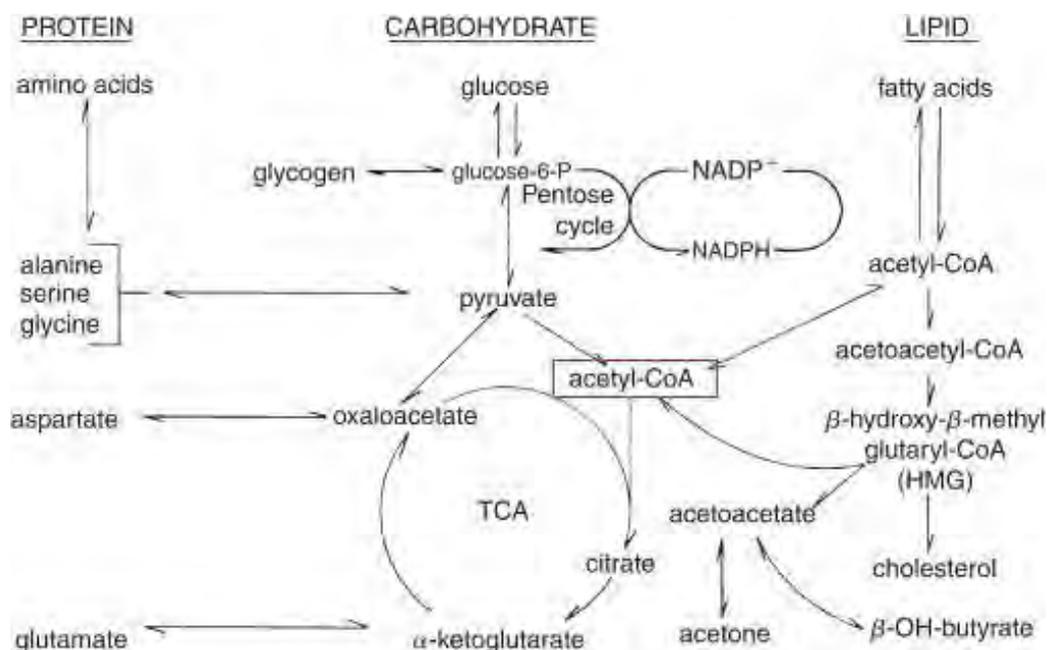


Figure 6 : Métabolisme énergétique des protéines, glucides et lipides dans le cycle de Krebs⁸

⁸ <http://www.sciencedirect.com/topics/page/Acetyl-CoA>

Une substance est au centre de toutes ces transformations énergétiques : **L'Acétyl Co-enzyme A**.

L'étape de glycolyse va transformer le glucose en pyruvate puis celui-ci sera converti en Acétyl Co-enzyme A. Après hydrolyse des triglycérides, les acides gras libres obtenus vont également être transformés en Acétyl Co-enzyme A. Enfin, les acides aminés seront aussi transformés en Acétyl Co-enzyme A directement ou indirectement via le pyruvate.

Ce stock d'Acétyl Co-enzyme A pourra servir : à la fabrication d'acides aminés, d'acides gras ou entrer dans le cycle de Krebs (= cycle de l'acide citrique, ici TCA) afin de fournir de l'énergie sous forme d'ATP via des étapes d'oxydation.

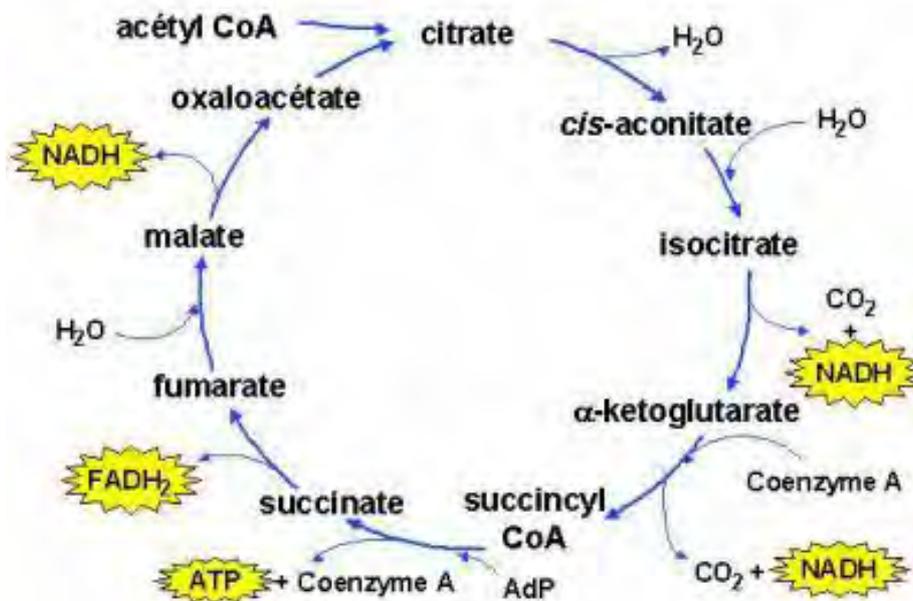


Figure 7 : Schéma du cycle de Krebs détaillé⁹

Après oxydation de ce dérivé du carbone, il y aura production de CO₂, mais aussi les formes réduites de co-enzymes nicotinamide-adénine-dinucléotide (NADH) et flavine-adénine dinucléotide (FADH₂).

Ces deux co-enzymes vont eux aussi subir une oxydation avec l'oxygène et ainsi produire encore de l'énergie : c'est la **phosphorylation oxydative**. Ce processus va permettre la phosphorylation de l'ADP en ATP (=énergie au stade optimal) grâce à l'énergie libérée par des donneurs d'électrons successifs au niveau de la chaîne respiratoire présents sur la membrane interne des mitochondries.

Ce processus permet aux cellules de régénérer leurs co-enzymes (NADH, FADH₂) qui ont été réduites par les réactions de catabolismes (cycle de Krebs et oxydation des acides gras) et en parallèle de produire encore un peu plus d'ATP.

⁹ <http://clesdesante.com/>

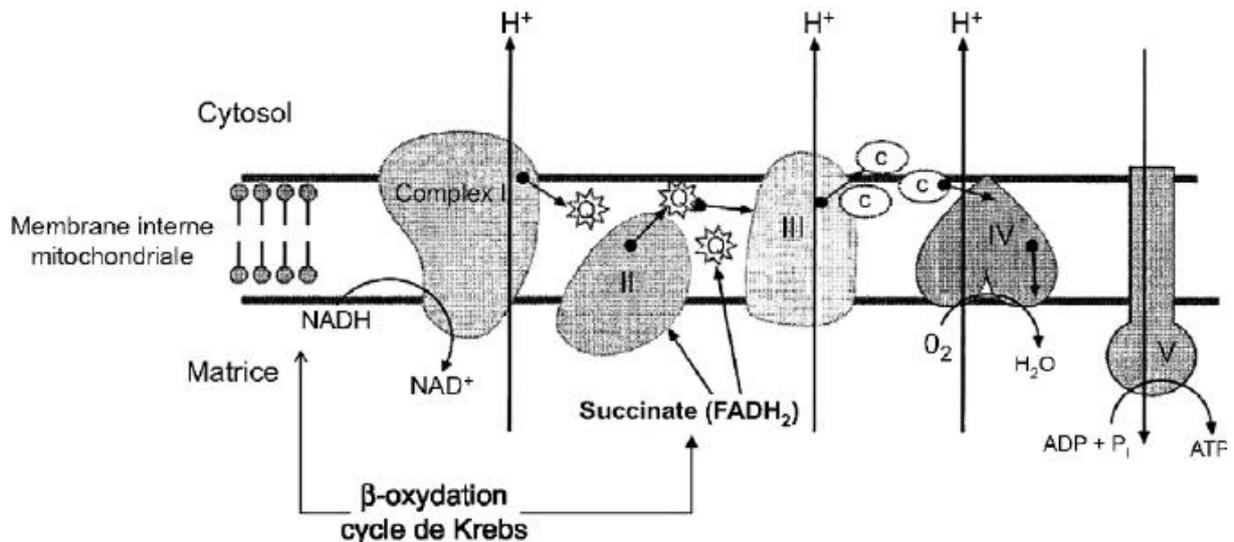


Figure 8 : Schéma du processus de phosphorylation oxydative au niveau des donneurs d'électrons de la chaîne respiratoire¹⁰

Au cours de cette **phosphorylation oxydative**, des électrons sont transférés le long d'une chaîne de transporteurs d'électrons. Ceux-ci vont réaliser une cascade de réactions d'oxydoréduction libérant ainsi l'énergie. Cette énergie obtenue est utilisée par des pompes à protons pour faire entrer des protons à travers la membrane interne des mitochondries. Ces protons vont s'accumuler et leur reflux de l'autre côté de la membrane provoque une production d'ATP via une ATP-synthétase.

La quantité d'énergie obtenue par ces processus complexes est bien plus importante que l'énergie produite par les substrats (glucides, lipides, protéines) seuls. En effet, par la glycolyse, une molécule de glucose ne permet de produire que deux molécules d'ATP contre 30 à 36 molécules d'ATP par l'oxydation complète des coenzymes du cycle de Krebs à travers la chaîne respiratoire. L'oxydation des acides gras (la β -oxydation), est une voie métabolique de dégradation des acides gras produisant l'Acétyl Co-enzyme A mais également du NADH et FADH₂, produit 14 molécules d'ATP.

Le CO₂, qui est, le produit final d'oxydation des nutriments devra être éliminé.

Ces voies métaboliques possèdent des systèmes permettant leur régulation. Si la production d'énergie est supérieure aux besoins de la cellule, des enzymes essentielles à la cascade de transformation vont se freiner. *Par exemple, la phosphofructokinase 1 (enzyme intervenant dans le catabolisme du glucose-6-phosphate en pyruvate) est inhibée par l'ATP (produit énergétique terminal) mais aussi par le citrate (produit intermédiaire).*

Pour que la production d'ATP se fasse rapidement, il faut suffisamment de substrats et d'oxygènes disponibles pour l'oxydation, c'est-ce qu'on appelle le **métabolisme aérobie**. Mais cela nécessite que l'ATP fourni soit utilisé (en vue de la consommation d'énergie).

Cependant, **lors d'un exercice physique, l'apport d'oxygène peut être insuffisant** face aux besoins énergétiques de la situation. La dernière étape de la phosphorylation

¹⁰ https://www.researchgate.net/figure/248555326_fig1_Fig-1-L-%27-O-2-dans-la-phosphorylation-oxydative

oxydative sera alors incomplète. Le substrat NADH va s'accumuler et ainsi freiner le cycle de Krebs. Il y aura alors accumulation du pyruvate, inhibant ainsi la glycolyse et donc toute la cascade de transformation d'énergie. Pour conserver une production (même minime) d'énergie dans cette situation, l'organisme va transformer le pyruvate en lactate (cul de sac métabolique). Cela va permettre d'évacuer le pyruvate et ainsi débloquent la cascade de la glycolyse et donc de la production d'énergie. Cette voie s'appelle le **métabolisme anaérobie** (Figure 9). Le lactate ainsi formé est transféré dans la circulation où il s'accumule. Cette voie métabolique compense la phosphorylation oxydative et la perte d'ATP, mais elle ne neutralise pas les protons résultants de l'hydrolyse de l'ATP. En conséquence, la concentration protonique (acidité) augmente et cause une acidose. Il s'agit alors d'une acidose lactique.

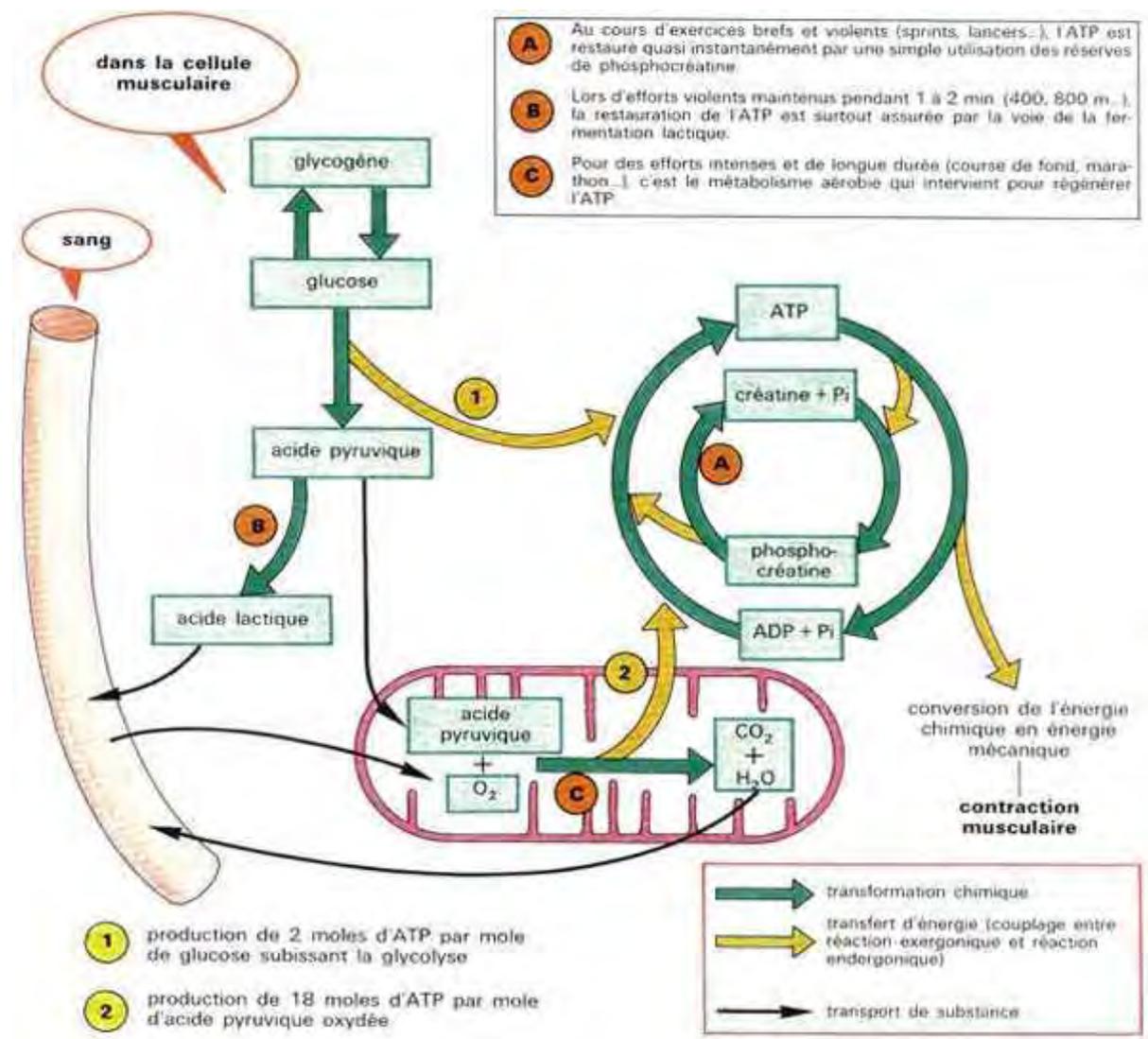


Figure 9 : Schéma des processus du métabolisme aérobie et du métabolisme anaérobie dans une cellule musculaire, en fonction de l'effort.¹¹

¹¹ <https://dietetique-performance-endurance.webnode.fr/metabolisme/>

Cet acide lactique peut s'accumuler dans les muscles lors d'une activité physique si la circulation sanguine n'est pas suffisante pour évacuer ce déchet. L'acide lactique va alors irriter les terminaisons nerveuses et créer des sensations de brûlures, de jambes lourdes, de crampes... La seule solution pour poursuivre l'exercice sera de diminuer l'intensité de l'effort pour permettre au sang de bien circuler.

Pour continuer la production d'ATP pendant cette phase d'anaérobie, l'ADP se couple à la créatine phosphate (CP), composé à haute énergie emmagasiné dans les muscles. Cette filière énergétique est la plus rapide car il en résulte un transfert presque instantané d'énergie et la formation d'une molécule d'ATP. La re-synthèse d'ATP consomme beaucoup de créatine phosphate (CP), c'est donc pour cela que cette source d'énergie s'épuise rapidement (*point « A » de la Figure 9*).

Une puissance musculaire maximale peut ainsi être maintenue pendant dix à quinze secondes. Ce mécanisme n'utilise pas d'oxygène et ne produit pas d'acide lactique ou de lactate. Cette voie énergétique est utilisée pour des efforts intenses, voir maximaux, et généralement appliquée au démarrage de l'activité (*point « A » de la Figure 9*).

Pour des exercices musculaires de plus longue durée (30 secondes après le début de l'exercice), toujours en milieu anaérobie, le glycogène musculaire entre en jeu et doit être dégradé pour produire de l'énergie, dont il devient alors la principale source. Une partie des réserves de glycogène du muscle est alors transformée en acide lactique. Cet autre système, qui dépend d'une réaction chimique plus longue, a une production d'ATP qui se fait par l'oxydation du glucose (la glycolyse). Suite à la glycolyse, nous obtenons comme auparavant, à partir d'une molécule de glucose, 2 molécules de pyruvate et 2 molécules d'ATP. Mais il n'y aura pas d'oxydation ultérieure et donc pas d'ATP supplémentaire.

Ainsi, lorsqu'il faut de grandes quantités d'ATP pendant de courtes périodes d'activité musculaire soutenue (30-40 secondes), la voie anaérobie en fournit une grande partie. Ensemble, les réserves d'ATP et de créatine-phosphate, et le système glycolyse - acide lactique peuvent entretenir une activité musculaire pendant presque une minute (*point « A » et « B » de la Figure 9*). Lorsque les réserves d'ATP-CP sont épuisées, les muscles feront appel à la voie aérobie (*point « C » de la Figure 9*).

L'appareil musculaire contient des stocks importants de glycogène. Ce glycogène est métabolisé dans les cellules musculaires en glucose-6-phosphate non hydrolysable et uniquement destiné à la glycolyse, il n'est donc pas redistribué dans la circulation sanguine. Le métabolisme est régulé par un organe central : le foie. Il va assimiler une grande quantité de glucose et le stocker sous forme de glycogène, il pourra par la suite, si besoin, le mettre à disposition de l'organisme pour réguler la glycémie. Le foie est aussi responsable, tant qu'il y a suffisamment de « carburant » disponible dans la circulation, de la synthèse d'acides gras après estérification. Ces acides gras vont ensuite être transportés vers les tissus périphériques sous forme de lipoprotéines.

Lors d'un jeûne, le foie transforme les acides gras en corps cétoniques afin de produire un substrat énergétique de secours pour l'organisme. La fabrication de ces corps cétoniques débute lorsque la capacité de métabolisation du cycle de Krebs est dépassée et que l'Acétyl Co-enzyme A s'accumule. Le foie va également assurer la néoglucogénèse grâce

aux acides aminés venant du catabolisme protéique afin d'assurer les besoins glucosés minimaux.

Nous avons donc vu que l'organisme utilisait les substrats de l'alimentation pour produire de l'énergie et assurait ses réserves si carence(s) en substrat(s) il y a. De plus, les différentes voies de production d'énergie permettent de répondre le plus rapidement et le plus durablement possible aux besoins de l'organisme. Ces besoins et dépenses de l'organisme devront alors être quantifiés en vue, pour le sportif, de contrôler l'utilisation optimale de ces substrats.

1.4. BESOINS ET DÉPENSES DE L'ORGANISME EN ÉNERGIE

Les besoins énergétiques de l'organisme intègrent deux valeurs : le **métabolisme de base** et les **dépenses énergétiques lors de l'activité physique**.

Le **métabolisme de base** est la quantité d'énergie que l'organisme a besoin pour remplir ses fonctions vitales (contraction du cœur, respiration, fonctionnement des reins, régulation thermique...). Ce métabolisme de base n'a pas une valeur constante, il varie en fonction de l'individu (sexe, poids, âge, moment de la journée...). Par exemple, lors du sommeil, il va diminuer de 10%, le froid intense peut l'augmenter de 5% ou encore la chaleur va l'augmenter de 0,5% par degrés au dessus de 30°C. Chez les femmes, il est souvent plus bas, dû à une proportion en tissu adipeux plus élevée. Il va également augmenter progressivement chez les enfants jusqu'à stagner entre 20-25 ans. Cette dépense énergétique est corrélée au poids corporel, en particulier de la masse maigre (le tissu adipeux étant métaboliquement peu actif, son augmentation n'entraîne qu'une faible augmentation de la dépense énergétique).

Lors d'une activité physique, c'est la quantité de fibres musculaires et l'intensité de leur contraction qui déterminent la dépense énergétique. Cela va provoquer une élévation des besoins en oxygène, et donc une élévation des fréquences cardiaque et respiratoire.

Les besoins énergétiques sont habituellement exprimés en kilocalories (kcal). Pour calculer les besoins énergétiques par individus, il existe des formules simples comme celle-ci : 1 kcal par kg de poids corporel par heure. L'exercice léger augmente cette valeur de 1/3, l'exercice moyen de 2/3 et l'exercice intense peut la doubler. Cette formule simple ne prend pas en compte le sexe ou l'âge de l'individu.

L'OMS a établi un calcul pour prédire ce métabolisme de base, intégrant le sexe, l'âge et le poids des individus (*Tableau 1*). Les valeurs obtenues doivent ensuite être multipliées par un facteur PAL (*Physical Activity Level*) qui côtoie les différentes activités physiques en leur donnant un coefficient plus ou moins élevé en fonction de l'intensité de l'activité. Ainsi, les différentes valeurs de PAL et leur correspondance sont :

- **1,2** : mode de vie uniquement assis ou couché (personnes âgées ou handicapées) ;
- **1,4** : travail assis avec peu ou pas de loisirs fatigants (travail de bureau par exemple avec **30 minutes de marche**) ;

- **1,6** : travail assis, activités debout ou marche occasionnelle, dépense d'énergie légère (travailleur à la chaîne, chauffeur, étudiant et pour **1 heure à 1 heure et 15 minutes de sport par jour**) ;
- **1,8** : travail essentiellement debout ou marche (ménagère, serveur, artisan, préparateur en pharmacie et pour **1 heure et 30 minutes à 2 heures de sport par jour**) ;
- **2** : activité professionnelle physiquement intense (ouvrier du bâtiment, agriculteur, sportif de haut niveau avec **3 à 4 heures de sport par jour**).

On obtient alors des valeurs indicatives, par exemple (*Tableau II*) pour un homme de 23 ans pesant 85kg.

	Âge	Formule prédictive du métabolisme de base (donné en kcal/jour)
Femmes	10-18 ans	$MB = (0,056 \times kg + 2,898) \times 239$
	19-30 ans	$MB = (0,062 \times kg + 2,036) \times 239$
	31-60 ans	$MB = (0,034 \times kg + 3,538) \times 239$
	>60 ans	$MB = (0,038 \times kg + 2,755) \times 239$
Hommes	10-18 ans	$MB = (0,074 \times kg + 2,754) \times 239$
	19-30 ans	$MB = (0,063 \times kg + 2,896) \times 239$
	31-60 ans	$MB = (0,048 \times kg + 3,653) \times 239$
	>60 ans	$MB = (0,049 \times kg + 2,459) \times 239$

Tableau I : Prédiction du métabolisme de base en fonction de l'âge et du sexe¹²

Métabolisme de base	$(0,062 \times 85 + 2,036) \times 239 = \mathbf{1746 \text{ kcal/jour}}$
Activité physique PAL 1,2	2095 kcal/jour
Activité physique PAL 1,4	2444 kcal/jour
Activité physique PAL 1,6	2794 kcal/jour
Activité physique PAL 1,8	3143 kcal/jour
Activité physique PAL 2,0	3492 kcal/jour

Tableau II : Métabolisme indicatif, pour un homme de 23 ans pesant 85Kg, en fonction du coefficient d'activité

Ainsi la dépense énergétique totale correspond au métabolisme de base multiplié par le coefficient d'activité (PAL).

¹²Harris JA, Benedict FG. A biometric study of basal metabolism. Publication N°279. Washington DC. Carnegie Bulletin of Washington, 1919, 4(12) : 370-373

Cet homme (*Tableau II*) aura un métabolisme de base à 1746 kcal par jour, on y rajoute un coefficient de 1,6 pour un travail sédentaire avec une activité de 1h à 1h15 de sport par jour cela nous amène à 2794 kcal par jour et à 2444 kcal pour les jours sans sport. Nous aurons donc ici une dépense énergétique variable entre 2450 et 2800 kcals par jour environ.

On pourra également ajuster le résultat de :

- +10% pour des personnes ayant un métabolisme rapide qui brûlent plus naturellement (personnes maigres et sèches) ;
- 10% pour des personnes ayant un métabolisme lent qui prennent du poids plus facilement.

Mêmes si ces formules et ces facteurs multiplicateurs permettent de bien approcher les besoins énergétiques des individus, elles sont valables pour des personnes en bonne santé et de poids équilibré (où l'élévation de poids signifie élévation de masse maigre), car toute élévation de poids signifie le plus souvent une élévation de masse grasse.

Ainsi, il faut un équilibre entre les apports énergétiques fournis au quotidien par l'alimentation et les dépenses réalisées en fonction de l'activité. Cette différence entre ces deux notions s'appelle le **bilan énergétique**. Ce bilan est équilibré si l'ensemble des apports compense l'ensemble des dépenses. Le poids demeure alors stable. Si la dépense est plus importante que l'apport alors l'individu sera en excès de dépense et il y aura perte de poids. Si les apports sont plus importants que les dépenses alors il va y avoir prise de poids.

Ces apports énergétiques seront à surveiller et devront être adaptés aux objectifs sportifs.

- Si l'objectif est de maintenir son poids en continuant l'activité et l'entraînement, alors l'apport énergétique devra être équilibré par rapport aux dépenses.
- Si l'objectif est de prendre du poids, prendre du muscle et développer sa masse musculaire, alors l'apport énergétique devra être plus important quantitativement que les dépenses. Mais de manière raisonnée, afin de ne pas avoir trop d'excédent et de ne pas stocker sous forme de gras.
- Si l'objectif est de perdre de la graisse, de « sécher », alors l'apport énergétique devra être inférieur aux dépenses mais aussi de manière raisonnée car on cherche à faire éliminer la masse grasse et non la masse maigre. Si les dépenses sont vraiment trop intenses par rapport aux apports nous aurons une perte de masse maigre non souhaitée en complément de la perte de masse grasse.

Nous avons donc vu comment le mouvement d'un individu et l'action de ses muscles se réalisaient. De part la contraction musculaire et de ses besoins énergétiques, l'individu devra adapter son alimentation afin de répondre au mieux à ces demandes. L'équilibre nutritionnel est alors important et devra être en adéquation avec les objectifs des sportifs. Ces objectifs dépendent alors des différents types de sport et de la particularité musculaire et énergétique de ceux-ci. Nous allons détailler cela dans la partie suivante

2. ADAPTATION PHYSIOLOGIQUE AUX DIFFÉRENTS TYPES DE SPORT

Les différents muscles squelettiques ne répondent pas tous et chez tout le monde de la même manière à l'effort. Les capacités d'endurance ou de force varient en fonction de l'aptitude de nos muscles. Les propriétés du muscle squelettique dépendent essentiellement de nos caractéristiques héréditaires. La plasticité du tissu musculaire fait que ses propriétés dépendent aussi de l'activité neuromusculaire et du type d'entraînement.

2.1. FIBRES LENTES ET FIBRES RAPIDES

Toutes les fibres musculaires de notre corps ne sont pas exactement identiques. Sur la composition nous aurons dans un muscle deux types de fibres : des **fibres à contraction lente** et des **fibres à contraction rapide**. La tension maximale des fibres lentes s'obtient en moyenne en 110 millisecondes alors que pour les fibres rapides ce temps est de 50 millisecondes, soit une différence de vitesse de contraction deux fois plus rapide pour les fibres rapides.

Rappelons-nous que la contraction est sous la dépendance de la myosine qui, pour interagir et donc provoquer la contraction, utilise l'énergie provenant de l'ATP via une enzyme (l'ATPase), qui catalyse la dégradation de son substrat (l'ATP) afin de contracter ou relâcher la fibre. Les fibres rapides vont posséder une forme rapide de cette enzyme alors que les fibres lentes une forme lente. Ainsi, l'énergie est libérée plus ou moins rapidement et la contraction pourra donc se faire plus rapidement.

Autre différence, les fibres rapides ont un réticulum sarcoplasmique plus développé que les fibres lentes. Ainsi, dans les fibres rapides, le calcium sera mieux libéré après stimulation. La vitesse de contraction est donc plus rapide pour les fibres rapides que pour les fibres lentes, mais la force produite *in fine* par ces deux types de fibres est quasiment la même. Ainsi, la puissance développée (force de la fibre par rapport à sa longueur par seconde) par une fibre rapide est plus importante que celle développée par une fibre lente (3 à 4 fois plus importante). En pratique, cela permet d'expliquer pourquoi les sprinters ont des membres inférieurs plus riches en fibres rapides que des marathoniens.

Les fibres musculaires sont innervées par un motoneurone. Ce motoneurone innerve plusieurs fibres en même temps pour une contraction plus organisée. Pour les fibres lentes, le motoneurone a un petit corps cellulaire et innerve un groupe de 10 à 180 fibres musculaires. Pour les fibres rapides, le motoneurone a un corps cellulaire plus volumineux (tout comme son axone), il va innover 300 à 800 fibres musculaires et ainsi le nombre de fibres contractées en même temps sera plus important et donc on observera un gain en vitesse de contraction et en puissance.

Les fibres lentes seront alors de petits diamètres et seront très vascularisées. Elles vont avoir plus de myoglobine (molécule qui est un véritable réservoir d'oxygène pour le muscle).

Ces fibres vont aussi avoir plus de mitochondries, qui, avec leurs enzymes, comme vu précédemment, sont associées à la respiration en aérobie et au métabolisme oxydatif.

Les fibres rapides seront-elles de grand diamètre et peu vascularisées. Nous avons vu qu'elles avaient un réticulum sarcoplasmique plus développé. Ainsi, elles sont plus aptes à fournir du calcium et plus rapidement pour la cellule musculaire. Elles vont donc avoir une vitesse d'action plus rapide. Ces fibres vont utiliser un métabolisme oxydatif et glycolytique en fonction de l'intensité et de la durée de l'effort.

Nous avons donc différentes catégories de fibres avec une différence de proportion (pour l'une et pour l'autre selon les individus). Ces fibres rapides ou lentes vont avoir des rôles différents lors de l'activité physique.

- **Les fibres lentes** : Elles possèdent comme nous l'avons vu plutôt des caractéristiques d'endurance (cas du marathonien) en condition aérobie, c'est-à-dire que la production d'ATP va se faire par oxydation des glucides et des lipides. Donc, tant que l'oxydation se poursuit, l'ATP sera produit dans les fibres lentes et l'activité sera maintenue. Les fibres lentes ont donc une capacité d'endurance élevée, c'est à dire qu'elles ont une aptitude à maintenir une activité musculaire prolongée. Ces fibres sont essentiellement recrutées lors d'activité de longue durée (marathon, natation, trail...).

- **Les fibres rapides** : Elles sont peu durantes et sont surtout sollicitées pour des exercices nécessitant le métabolisme en anaérobie. L'ATP n'est pas produit par une voie d'oxydation mais par la voie anaérobie. Ainsi, ces fibres vont être capables de générer plus de puissance que les fibres lentes mais vont se fatiguer davantage car elles sont peu durantes. Elles sont donc sollicitées lors des épreuves courtes et intenses (sprint 100m, 400m ou encore les 50-100m en natation).

2.2. LE SPORTIF

Les **caractéristiques anthropométriques** spécifiques à un athlète lui fournissent une prédisposition à la réussite dans tel ou tel sport. Ainsi, la mesure des données morphologiques de l'athlète sera la première étape de la construction de son programme d'entraînement.

Plus un sportif est lourd, plus il aura besoin d'oxygène et d'énergie pour réaliser une performance. Ainsi, le marathonien n'a aucun intérêt à réaliser des entraînements visant à lui développer son volume ou sa masse musculaire. Au contraire, il va essayer de garder un poids le plus faible et efficace possible (ne mettant pas en jeu son pronostic vital) afin de répondre à un effort de longue durée.

À *contrario*, les sprinteurs vont suivre un entraînement qui va développer la masse musculaire afin de répondre à la demande d'un effort explosif et d'intensité brève. Pour le sprinteur, il faudra développer les membres inférieurs mais aussi tous les autres muscles afin d'être équilibré et stabilisé. L'impact négatif du poids supplémentaire, en lien avec ce gain de masse musculaire, est largement compensé par la puissance qu'elle donne au sportif pour son effort intense et bref.

La répartition du type de fibres (lentes ou rapides) est donné par la génétique de l'individu et ne peut être changée, l'entraînement peut optimiser ces caractéristiques.

Tous les sportifs ne recherchent pas, *via* l'alimentation, le même objectif. Cela est dû aux caractéristiques de leur sport et la façon dont le corps peut en optimiser la performance.

- Pour les **sports à catégorie de poids** (judo, boxe, lutte, haltérophilie...) ou pour les sportifs voulant "faire du muscle et maigrir": l'objectif peut être la perte de poids pour être le plus performant possible dans une catégorie donnée, ou peut être la prise de poids pour la même raison. Ils vont alors subir un régime très strict notamment les jours précédents les compétitions et les pesées. Le gros risque pour cette population est de puiser dans les réserves (physiques et psychologiques) et ainsi risquer une baisse de performance. Il y aura alors des pertes en eau, en glycogène et même en protéines ce qui serait synonyme de perte de masse musculaire, perte de réserve énergétique et donc baisse de leurs performances.

- Les **sports métrés** (athlétisme, natation, haltérophilie...) : l'objectif est de travailler l'explosivité, la force des muscles. Ils vont donc vouloir optimiser leur alimentation pour qu'elle réponde aux attentes de leur sport (qui demande à leur corps de la réactivité et de la performance sur des courtes distances).

- Les **sports esthétiques** (gymnastique, patinage, natation synchronisée...) : ces sportifs vont jouer sur leur silhouette et ne voudront pas de gros volumes alimentaires. Ils vont souvent réduire leurs apports alimentaires pour éviter de faire de la masse grasse et « garder la ligne ».

- Les **sports de longue distance** (marathon, cyclisme...) : le maître mot de ces sportifs est "l'énergie" puisqu'ils savent que, sans elle, ils n'avanceront plus. La durée et l'intensité de leur effort n'est pas permis pour une personne lambda. Ils vont viser à augmenter leurs réserves en énergie pour contrecarrer la perte qu'induit leur sport.

- Les autres sports (sports collectifs, tennis...) : la préoccupation alimentaire est moins importante dans ces sports. Cela laisse place parfois à de la surcharge pondérale due notamment à : des apports supérieures aux dépenses, à des erreurs alimentaires (surconsommation de féculents classés comme "carburant", au détriment des fruits et légumes).

Nous avons donc constaté que les mouvements de l'organisme sont soumis à des étapes clefs auxquels répond la physiologie des muscles. La contraction de ces muscles, et donc le mouvement de l'organisme, nécessite de l'énergie sous forme d'ATP apporté par les systèmes de contrôle de l'organisme. L'apport, via l'alimentation, en substrat énergétique peut être contrôlé par les sportifs pouvant ainsi en privilégier le type, la quantité et la qualité. Pour que ce contrôle se fasse, il faut que le sportif connaisse son utilisation d'énergie quotidienne lors de ses différentes activités et en fonction de ses différents objectifs (physique et performance). Ainsi il pourra adapter son alimentation en fonction de son sport et des nutriments les plus utilisés pour celui-ci.

Dans la deuxième partie nous verrons le rôle de ses différents nutriments, leur présence dans les différents aliments, les intérêts et éventuellement les risques à les compléter dans l'alimentation.

PARTIE II

DES BASES DE

NUTRITION

AUX AJOUTS

Comme nous avons pu le voir dans la partie précédente, les processus dynamiques de l'organisme vont avoir besoin d'énergie sous forme d'ATP. Afin d'aboutir à l'ATP, l'organisme aura besoin d'aliments constitués de glucides, lipides et protéines et cela en grande quantité. Ils sont appelés les macronutriments.

L'organisme aura également besoin des **micronutriments** qui, contrairement aux **macronutriments**, ne jouent pas de rôle énergétique. En revanche, ils sont indispensables au bon fonctionnement des réactions chimiques et des enzymes, ils vont permettre la fabrication d'hormones, le fonctionnement du système immunitaire, la récupération physique et le bien être moral. On les retrouve dans l'alimentation et dans l'organisme à des doses infimes, d'où le terme de micronutriments. Ces micronutriments sont : **les vitamines, les minéraux et les oligoéléments.**

Un autre composant est essentiel au bon fonctionnement de l'organisme et de la vie en général, il s'agit de **l'eau**. Elle représente 70% de l'organisme et cela en fait le premier constituant de celui-ci. L'eau va intervenir dans : les réactions chimiques, le transport d'éléments essentiels et leurs utilisations, dans la gestion de l'effort physique et de la récupération (en particulier par l'élimination des déchets hydrosolubles).

Ces composés sont alors apportés par une **alimentation équilibrée et variée**. La particularité de l'activité physique fait que le sportif puise d'avantage dans ses réserves puisque les processus de contraction, d'utilisation d'énergie, de circulation sanguine, de respiration(...) sont augmentés. Ainsi, sa nutrition de base est également augmentée. Il aura alors recours à des produits pour compléter son alimentation, pour contrer les dommages des séances intensives ou encore pour augmenter artificiellement ses capacités physiques et ses performances par le dopage.

Dans cette partie nous allons présenter ces composants de notre nutrition de base, leurs rôles, leurs quantités utiles et le risque d'un sous-apport ou d'un sur-apport. Nous nous intéresserons alors aux macronutriments représentés par les glucides, les lipides et les protéines. Ces macronutriments sont les véritables sources d'énergie de notre corps. Nous verrons, par la suite, l'intérêt des micronutriments (minéraux et vitamines). Enfin, nous nous attarderons sur un composant essentiel à la vie : l'eau.

1. LES MACRONUTRIMENTS, SOURCE D'ÉNERGIE

Les macronutriments vont permettre à l'organisme de fabriquer de l'ATP.

Ces macronutriments sont constitués de **glucides, lipides et protéines** dont l'organisme a besoin en grande quantité.

Nous allons étudier dans cette partie le rôle de ces nutriments dans l'organisme ainsi que leurs sources.

1.1. LES GLUCIDES

1.1.1. Notions générales sur les glucides

Les glucides sont aussi appelés **sucre**s et sont transformés par l'organisme en une forme simple (**le glucose**) et sont ainsi transportés par le sang vers toutes les cellules du corps.

Les glucides alimentaires sont construits à partir des monosaccharides glucose, galactose ou fructose. Il y aura alors des di-, oligo- et polysaccharides en fonction du nombre de monosaccharides reliés (*Tableau III*).

Au repos, après ingestion, le glucose est capté par le foie et les muscles sous la forme de **glycogène** (forme complexe de stockage du glucose). Le glycogène est ainsi stocké dans le cytoplasme des cellules de ces organes jusqu'à son utilisation par celles-ci afin de produire de l'ATP. Le glycogène stocké par le foie sera transformé en glucose puis transporté par le sang vers les tissus de l'organisme où il sera métabolisé pour donner de l'ATP.

Les réserves en glycogène, que ce soit hépatique ou musculaire, sont limitées et peuvent s'épuiser lors d'exercices intenses et prolongés, d'autant plus si l'alimentation n'apporte pas une nouvelle quantité de glucides.

Nous sommes alors très dépendants de ce substrat via notre alimentation. En effet, les glucides constituent la seule source d'énergie pour le cerveau, le système nerveux et les globules rouges. Il leur faut donc un apport glucosé constant, assuré par un contenu sanguin minimal en glucose. Le cerveau utilise environ 120-140g de glucose par jour. Une déplétion sévère en ce substrat peut conduire à des dysfonctionnements cognitifs. Les muscles n'utilisent pas les glucides de la même manière, ils vont avoir des disponibilités et des capacités métaboliques différentes.

Les sucres simples sont constitués d'une seule molécule de sucre, ce sont des monosaccharides : le glucose ou le fructose contenus dans les fruits et légumes, ou le galactose dans les laitages. Ils traversent la barrière intestinale sans être soumis à une digestion enzymatique.

Parmi les disaccharides, trois sucres sont intéressants :

- le saccharose, communément appelé "sucre" est produit en Europe exclusivement à partir de betteraves. Après hydrolyse intestinale, il libère du glucose et du fructose.

- Le lactose, sucre du lait, est formé d'une molécule de glucose et d'une molécule de galactose. Il n'a pas vraiment d'index glycémique notable à prendre en compte dans l'alimentation de l'adulte.

- Enfin le maltose, aussi appelé sucre de malt car il apparaît dans les grains d'orge en germination, est composé de deux molécules de glucose et peut être obtenu à partir de l'hydrolyse de l'amidon des céréales.

Les autres glucides alimentaires sont dits "complexes" parce qu'ils comportent plusieurs molécules de glucose. Ce sont des **polysaccharides**. On retrouve les amidons, contenus surtout dans les céréales, tubercules et les légumineuses. Ils subissent une digestion plus poussée afin de libérer ces molécules de glucose. La majeure partie des glucides alimentaires sont représentés par ces amidons. Les amidons sont des polymères des sucres simples. Il en existe deux qui se distinguent par leur structure : linéaire pour l'**amylose**, ramifiée pour l'**amylopectine**. L'amidon est la forme de réserve polysaccharidique des plantes. L'**amylose** est formé de chaînes linéaires de 600 à 6000 unités de glucose suivant la plante d'origine. Les aliments les plus riches en amylose sont issus des légumineuses alors que les céréales contiennent de 15 à près de 30 % d'amylose et que les tubercules sont un peu moins riches (17 à 22 %). L'**amylopectine**, formée de chaînes très ramifiées, est absorbée et digérée plus lentement que l'amylose. Bien que la structure du glycogène (présent chez les animaux dont on se nourrit) soit comparable à celle de l'amidon, cela ne va jouer aucun rôle dans notre alimentation car les réserves en glycogène des aliments prêts à être digérés sont déjà presque totalement décomposées.

L'amidon va également être le produit de base pour l'ajout de polysaccharides dans les plats préparés industriellement. Son hydrolyse produit des glucides facilement utilisables pour cette industrie, on appelle ces saccharides industriels des dextrines. Parmi ces dextrines, il y aura notamment le maltodextrine, composé de différents sucres (glucose, maltose, oligosides et polyosides) utilisé pour améliorer la solubilité et la texture d'un produit, également utilisé comme excipient. Si l'hydrolyse est encore plus poussée, alors le produit sera composé presque exclusivement de molécules de glucose liées, ce sera alors le sirop de glucose.

Glucides	Dans quels produits
Monosaccharides	
Glucose	Fruits, légumes, miel
Galactose	Laitages
Fructose	Fruits, légumes, miel
Disaccharides	
Saccharose (glucose+fructose)	Betterave, canne à sucre, fruits, légumes, sirop d'érable, miel
Lactose (glucose+galactose)	Produits laitiers
Maltose (glucose+glucose)	Graines et produits d'hydrolyse de l'amidon
Polysaccharides	
Amylose (polymère de glucose)	Amidon Céréales et leurs dérivés : blé, riz, maïs, orge, seigle... Tubercules : pomme de terre, patate douce, igname... Légumineuses : lentilles, pois, fèves, haricots secs...
Amylopectine (polymère de glucose)	Amidon Céréales et leurs dérivés : blé, riz, maïs, orge, seigle... Tubercules : pomme de terre, patate douce, igname... Légumineuses : lentilles, pois, fèves, haricots secs... Agent épaississant
Glycogène = amidon animal (polymère de glucose)	Foie, muscles (sources animales)
Inuline (polymère de fructose)	Artichaut, topinambour
Saccharides industriels	
Dextrine (polymères de glucose)	
Sirop de glucose (amidon hydrolysé)	

Tableau III : Présentation des glucides et composition des aliments en ces glucides^{13, 14}

De plus, le *Tableau IV* nous présente la teneur en glucides pour 100 grammes d'aliments sans mentionner le type de glucide concerné. On constate alors la grande diversité dans la richesse en glucides des aliments.

¹³ Inspiré de : Hans Konrad Biesalski et Peter Grimm, Atlas de poche de nutrition, Édition Médecine-science Flammarion, 2010, 123-126.

¹⁴ Inspiré de : Olivia Meeus et Frédéric Mompo, Diététique de la musculation, Édition Amphora, 2014, 22-30

ALIMENT	Teneur / 100 gr	ALIMENT	Teneur / 100 gr	ALIMENT	Teneur / 100 gr
Sucre blanc	100	Pop corn éclaté à l'air	62.9	Pâte feuilletée pur beurre cuite	43.1
Sucre roux	97.6	Farine de blé complet	62.6	Pommes de terre chips	42.4
Bonbons tout type	95	Palmier	61	Haricots blancs secs	41.4
Fécule de maïs	88	Biscuit chocolaté cookie	60.4	Brioche	40.5
Riz soufflé	87.7	Farine de seigle	59.7	Madeleine	39.9
Banane sèche	80.7	Chocolat à croquer	57.8	Pruneaux secs	39.8
Pétales de maïs (corn flakes)	80	Flocons d'avoine	57.7	Abricots secs	39.3
Riz blanc cru	78.3	Cake	57	Lait entier en poudre	37.5
Miel	76	Macaron	57	Tartelette aux pommes	37.4
Biscuit	75	Figues sèches	56.8	Châtaignes	36.3
Riz complet cru	73.9	Chocolat au lait	56.5	Germes de blé	33.3
Biscotte	73.6	Pain (blanc) type baguette	56	Rhubarbe cuite sucrée	31.6
Farine blanche	71.5	Croissant	55	Sorbet	31
Pâtes (sans oeufs), crues	70.9	Brownies au chocolat et noix	55	Pommes de terre frites	30
Semoule cru	70.4	Pain de campagne	54.4	Glace type esqumau	29.5
Pain d'épices	70	Pâte de fruit	53.3	Eclair	29.5
Fruits exotiques séchés pour apéritif	70	Lait entier concentré sucré	53.1	Crème glacée (glace)	26.2
Biscuit sec	69.2	Pâte brisée cuite	50.8	Ketchup	26
Pâtes aux oeufs, crues	69.2	Lentilles sèches	50.4	Pommes noisettes précuites surgelées	23.6
Dattes sèches	69	Pain de mie	50.3	Patate douce crue	23
Sablé ou galette	68	Lait écrémé en poudre	49.5	Pommes de terre au four	22.8
Confiture tout type	68	Muffin	49.3	Crème pâtissière	22.3
Barre chocolatée enrobée (Mars)	65.9	Pain de seigle et froment	49	Mais doux en épi cuit	21
Raisins secs	65.8	Pâte d'amande	49	Banane fraîche	21
Farine de sarrasin	64.5	Beignet à la confiture	47	Purée de marrons en conserve	19.1
Müsli	64.5	Pain au lait	47	Compote de pomme en conserve	19.1
Sirop aux extraits de fruits	63	Pain au chocolat	46.4	Crème dessert industrielle chocolat	18.9
Biscuit apéritif sans fromage	62.9	Pain aux raisins	45	Pommes de terre cuites à l'eau	18
		Pain complet	44.2	Yaourt au lait entier fruits	18
		Lait demi-écrémé en poudre	43.9	Fromage frais genre Gervita fruits	17

Tableau IV : Teneur en glucides de certains aliments¹⁵

1.1.2. La glycémie et l'index glycémique

Tous les aliments ne vont donc pas apporter la même quantité et la même sorte de glucides. Ces glucides n'ont, en réalité, pas le même **pouvoir sucrant** (la même quantité de glucides, provenant de différentes sources alimentaires, va entraîner des variations de glycémie). Le pouvoir sucrant est donc mesuré habituellement sur le chiffre de la glycémie, constatée après l'absorption d'un aliment (le pic glycémique est souvent atteint en 45 minutes post ingestion).

Nous allons donc avoir ce que l'on appelle "**l'index glycémique**". Cet index permet le classement des aliments en fonction de leur réponse sur la glycémie, après leur ingestion par rapport au sucre de référence (le glucose). L'index glycémique de l'aliment dépend de sa composition en glucides simples et complexes, la présence de fibres et la quantité de lipides dans l'aliment. Les index glycémiques sont plus élevés pour les sucres simples que pour les sucres complexes.

Le pic glycémique, après ingestion des aliments, sera dû à leur digestion et à leur absorption : les disaccharides ainsi que le saccharose et le lactose ingérés sont hydrolysés

¹⁵ <http://www.bodybuilding-coach.fr/metabolisme/tableaux-de-nutrition/tableaux-de-nutrition.htm>

dans le tube digestif en monosaccharides par des disaccharidases membranaires spécifiques. Ensuite, le glucose et le galactose sont transportés de manière active au niveau du pôle luminal des cellules de la muqueuse digestive contre un gradient de concentration. Le glucose est absorbé rapidement et totalement dans l'intestin. Il y a échange d'une molécule de glucose pour un ion Na^+ , puis un autre gradient de concentration par la pompe Na^+/K^+ ATPase au niveau basal. Ensuite, le glucose quitte la cellule par des transports actif ou passif, une partie sera reconduite dans la lumière intestinale par un transporteur.

Le fructose est absorbé de manière passive, plus lentement que le glucose et disparaît deux fois plus vite de la circulation sanguine car il est fortement pris en charge par le foie. Il est métabolisé en glucose dans le foie par la fructokinase et très peu par l'intestin et le muscle.

Le galactose est également transformé dans le foie en glucose.

Les aliments qui se décomposent rapidement pendant la digestion ont les index glycémiques les plus élevés. Parmi eux on retrouve : les féculents raffinés (pomme de terre, flocon de maïs, pain blanc et riz blanc) ainsi que les aliments à base de sucre (sodas, biscuits, bonbons). Ces aliments produisent une hausse rapide de la glycémie.

Les aliments qui se digèrent plus lentement vont étaler dans le temps le pic glycémique après ingestion. Par exemple, le fructose va provoquer, à quantités équivalentes, une montée glycémique et une réponse insulinaire moindres que celles du glucose. Ces aliments libèrent le glucose petit à petit dans le sang et ont donc un faible index glycémique. Parmi eux on retrouve : les féculents moins raffinés (haricots secs, lentilles, pain multi-céréales, muesli) ainsi que certains fruits et les produits laitiers.

Les aliments présentant un index glycémique élevé vont provoquer une hausse de la glycémie de manière rapide, mais cet afflux d'énergie est de courte durée. En effet, l'insuline, libérée par le pancréas, va distribuer ce sucre du sang vers les cellules (le but pour cette hormone étant de ramener la glycémie à une valeur normale en exerçant une action hypoglycémisante). Ce système est très performant, cependant, si le régime alimentaire est essentiellement constitué de produits à fort index glycémique, il y a un risque de surcharge du système, provoquant une désensibilisation des cellules à l'insuline (diabète). Ainsi, les aliments à fort index glycémique, par le pic d'insuline, favorisent les coups de fatigue dus à la baisse brutale de la glycémie. Ils favorisent également le stockage des graisses.

Ainsi, la digestibilité des grains d'amidon est assez lente. Cependant, il faut faire attention à la technologie alimentaire qui va la modifier en la rendant plus rapide (cuisson industrielle "cuisson minute", réduction en poudre ou en grains fins, amidons gélatinisés).

1.1.3. La charge glycémique

Il y a aussi la notion de **charge glycémique** des aliments. Cette valeur nous renseigne sur la **quantité réelle de glucides ingérés**. En effet, nous avons la teneur totale des aliments en glucides et l'index glycémique (c'est-à-dire la capacité d'un aliment à faire varier la glycémie). Cependant, cela ne reflète pas vraiment sur la quantité réelle de sucre ingéré après digestion, c'est-à-dire la quantité de sucre disponible dans le flux sanguin.

ALIMENTS A CHARGE GLYCEMIQUE ELEVEE	G	IG	CG	ALIMENTS A CHARGE GLYCEMIQUE FAIBLE	G	IG	CG
GLUCOSE	100	100	100	MIEL (1 C A CAFE)	16	55	9
RIZ SOUFFLE	85	95	81	MANGUE (1 MOITIE)	16	51	8
TAPIOCA	94	80	75	MELON (UN DEMI)	11	72	8
CORN-FLAKES	85	85	72	JUS DE PAMPLEMOUSSE (25 cl)	17	48	9
MIEL	80	90	72	JUS DE CAROTTE (25 cl)	21	43	9
DATTES	75	95	71	PÂTES COMPLETES (T150)	19	45	9
SUCRE SACCHAROSE	100	70	70	CRÈME GLACÉE	25	35	9
MAIZENA	88	70	62	POMME DE TERRE BOUILLIE AVEC PEAU	14	65	9
CÉRÉALES SUCRÉES	80	70	56	BOISSON AU COLA	11	70	8
POP CORN SANS SUCRE	63	85	54	JUS DE POMME NATUREL	17	40	7
FARINE T45 (PAIN BLANC)	58	85	49	PÂTES INTÉGRALES (T200)	17	40	7
CRACKERS	60	80	48	MAÏS INDIEN ANCESTRAL	21	35	7
CONFITURE	70	65	46	CHOCOLAT NOIR À 70% DE CACAO	32	22	7
RAISINS SECS	66	65	43	POIS CHICHES CUIITS	22	30	7
BARRE CHOCOLATÉE	60	70	42	JUS D'ORANGE INDUSTRIEL	11	65	7
FARINE T55 (BAGUETTE)	55	75	41	4 ABRICOTS	12	57	7
BISCUIT SEC "PETIT BEURRE"	75	55	41	20 CERISES	19	36	7
CHIPS	49	80	39	1 ORANGE	15	48	7
PAIN - BAGUETTE	56	70	39	QUINOA CUIT	18	35	6
PAIN DE MIE	46	85	39	POIS SECS CUIITS	18	35	6
FARINE T65 (PAIN DE CAMPAGNE)	53	70	37	KIWI	12	50	6
BISCUIT SABLÉ	68	55	37	FÈVES CUITES	7	80	6
SNICKERS (1 barre)	64	55	35	CAROTTES CUITES	6	85	5
FARINE T85	50	65	33	POTIRON, CITROUILLE	7	75	5
FARINE DE BLÉ NOIR (SARRASIN)	65	50	33	PASTÈQUE	7	75	5
POMME DE TERRE FRITE	33	95	31	VERMICELLE CHINOIS (HARICOTS MUNGO)	15	35	5
				LENTILLES BRUNES	17	30	5
				HARICOTS BLANCS	17	30	5
				POIS CASSÉS	22	22	5
				MYRTILLES, FRAMBOISES (30 G)	13	40	5
				4 PRUNES	13	39	5
				1 PECHE	9	56	5
				20 FRAISES	14	36	5
				PAIN DE SEIGLE COMPLET (30 g)	12	41	5
				LAIT ECREME (250 ml)	13	32	4
				MELON	6	65	4
				PETITS POIS FRAIS	10	40	4
				JUS D'ORANGE PRESSÉ	10	40	4
				HARICOTS ROUGES	11	40	4
				POIRE, FIGUE	12	35	4
				POMME	12	30	4
				LENTILLES VERTES	17	22	4
				CERISE	17	22	4
				JUS DE TOMATE (25 cl)	8	38	3
				½ PAMPLEMOUSSE	12	25	3
				ORANGE	9	35	3
				PÊCHE	9	30	3
				SOJA CUIT	15	20	3
				AIL	28	10	3
				NAVET	3	70	2
				CAROTTES CRUES	7	35	2
				LACTOSE	100	46	
				YOGOURT ENTIER	5	35	2
				YOGOURT MAIGRE	5	35	2
				LAIT DEMI-ECRÈME	5	30	2
				CAROTTES (72 g)	4	47	2
				PRUNE, PAMPLEMOUSSE	10	22	2
				CACAHUETES	9	20	2
				ABRICOTS FRAIS	10	20	2
				NOIX	5	15	1
				HARICOTS VERTS	3	30	1
				OIGNONS	5	10	1
				Légumes verts, Salade, Choux, Tomates, Champignons	5	10	1
				Viandes, Poissons, Oeuf, Fromages, Beurre	0		0

G = Quantité de glucides pour 100 gr d'aliment, ou par portion bien définie

IG = Index Glycémique

CG = Charge Glycémique

Tableau V : Teneur en glucides, index glycémique et charge glycémique de certains aliments¹⁵

Au quotidien, chaque aliment n'est pas consommé dans les mêmes proportions. Si un aliment possède un index glycémique (IG) plus élevé qu'un autre mais n'est consommé habituellement qu'en faible portion, il aura moins d'impact sur la glycémie qu'un autre aliment à index glycémique bas mais consommé souvent et en grande portion. Pour corriger l'index glycémique, selon nos habitudes alimentaires, il faut mettre en place l'indice de charge glycémique (CG) qui calcule l'index glycémique qu'induit l'ingestion de 100 grammes d'aliment, et non 100 grammes de glucides.

La charge glycémique (CG) s'obtient alors tout simplement en multipliant l'index glycémique (IG) d'un aliment par sa teneur en glucides, et en divisant le tout par 100. Ainsi : **CG d'un aliment = (IG de l'aliment X teneur en glucides de cet aliment) / 100.**

Une charge glycémique inférieure ou égale à 10 est considérée comme basse. Comprise entre 10 et 20 elle est dite modérée. Supérieure ou égale à 20, elle est élevée.

Ainsi, la patate douce a une teneur en glucides de 20g/100g, et un index glycémique de 50. Pour que l'organisme subisse l'impact d'un index glycémique 50 via la patate douce, il faudrait ingérer 500 gr de cet aliment (20g de glucides x 5 = 100g de glucides de patate douce, pouvant ainsi être comparé à l'index glycémique de 100g de glucose pur). Mais nous consommons rarement 500g de patate douce, donc pour une consommation moyenne de 100g de cet aliment, son index glycémique sera divisé par 5, ce qui lui confère une charge glycémique de seulement 10.

Cependant, il ne suffit pas de calculer les index glycémiques des glucides pour évaluer l'impact d'un repas sur la glycémie car la **mixité du repas** (glucides + lipides + protéines) influe considérablement sur le pouvoir hyperglycémiant final. Ainsi, une grande proportion de lipides va prolonger la durée de rétention gastrique, les fibres vont ralentir l'absorption intestinale et donc diminuer l'effet hyperglycémiant d'un repas.

Par exemple au petit déjeuner manger un bol de céréales (IG élevé) avec du lait demi-écrémé (IG faible) ou encore une tranche de pain (IG élevé) avec un peu de miel (IG moyen) va permettre de ralentir la libération de glucose. Ainsi, la combustion du glucose se fera de manière plus lente et étalée (idéale pour la pratique sportive). Il faudra alors privilégier des aliments à index glycémique moyen ou bas pour avoir une énergie plus durable et éviter le stockage sous forme de graisses.

La préparation de l'alimentation va aussi influencer sur cet index glycémique. Ainsi, le riz minute a un index glycémique plus élevé que le riz blanc classique, car les liaisons osidiques sont déjà rompues et le temps de digestion et le temps de rétention gastrique sont donc abaissés. Aussi les pommes de terre « chips » ont un index glycémique supérieur aux pommes de terres classiques car, malgré la présence de graisses, les amidons sont gélifiés et très assimilables. Dans un élément céréalier naturel on a normalement des fibres et des sucres complexes, mais dans un produit industrialisé et transformé, il n'y a plus de fibres et la structure glucidique est devenue plus simple. Ainsi, on passe d'un produit intéressant au niveau nutritif pour le sportif puisqu'il apporte des glucides complexes (dont la disponibilité pour l'organisme et l'utilisation énergétique étalée dans le temps répondent aux besoins d'une activité sportive), à un poison pour le sportif puisque la glycémie va baisser aussi vite qu'elle aura augmenté (provoquant au passage une élévation de l'insuline et un risque d'hypoglycémie réactionnelle).

1.1.4. Rôle des glucides dans l'organisme

Nous avons donc vu que les glucides (glucose, fructose et galactose) vont être transportés au niveau du foie où les deux derniers vont être transformés en glucose. Une partie va alors se retrouver dans le sang. La présence sanguine de glucose va être reconnue par des récepteurs pancréatiques entraînant une augmentation de la sécrétion d'insuline (*Figure 10*) et une diminution de la sécrétion de glucagon, ce qui va provoquer une modification du métabolisme organique.

Régulation normale de la glycémie

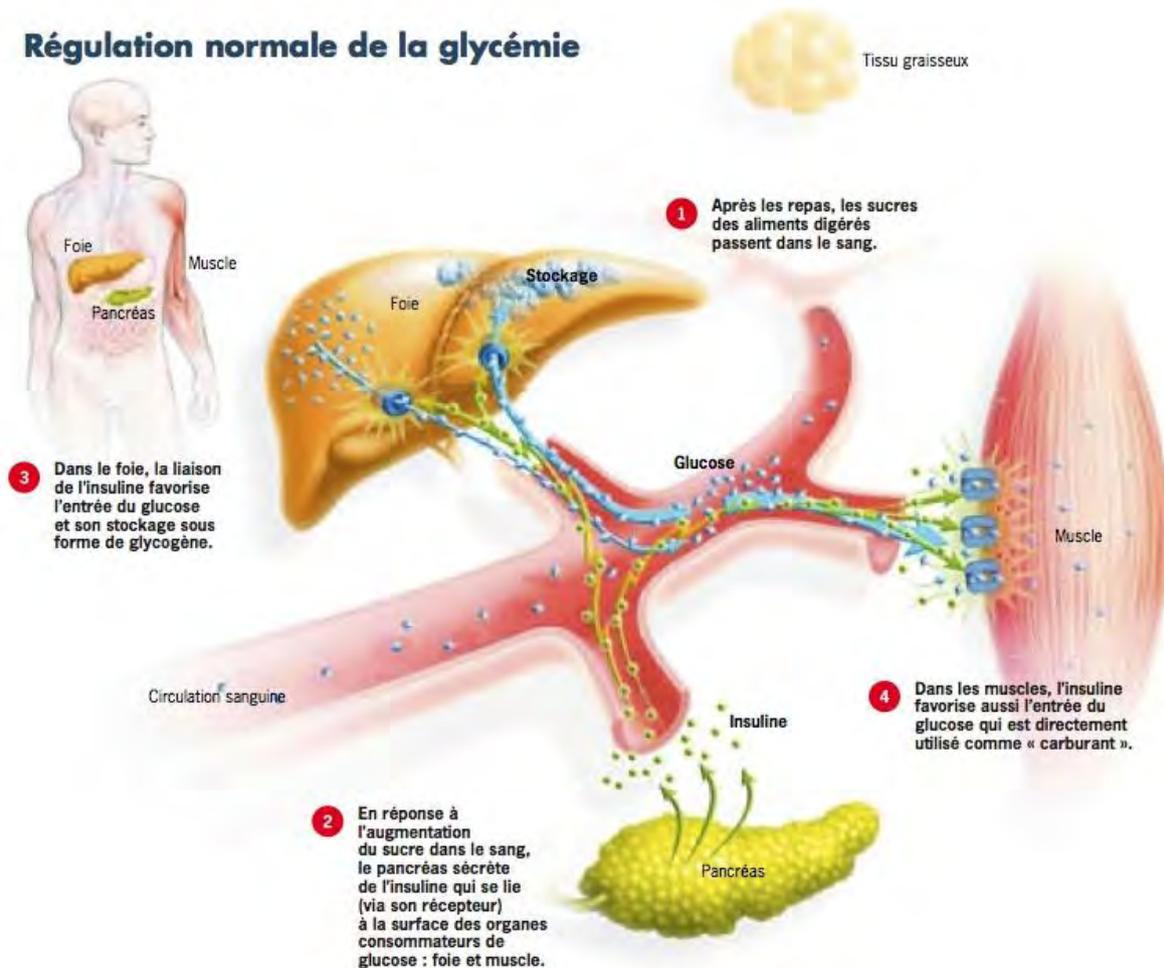


Figure 10 : Illustration de la régulation de la glycémie et du stockage du glucose par l'organisme¹⁶

Le glucose qui a été absorbé par le foie va être transformé. Il va subir une phosphorylation et devenir du glucose-6-phosphate, bloquant ainsi sa fuite de la cellule hépatique. Il est alors métabolisé et fournit de l'énergie via le cycle de l'Acétyl Co-enzyme A ; puis l'excédent de glucose sera métabolisé en glycogène et en acides gras libres, en triglycérides si les capacités de stockage du glycogène sont dépassées (les capacités de réserve en glycogène sont de 100g pour le foie et 500g pour les muscles). **Le glycogène a donc une capacité de stockage limité** (car trop volumineux), ce qui va justifier la

¹⁶ <http://www.frm.org/nos-dossiers/nos-publications/les-archives-de-recherche-sante-2.htm>

métabolisation du glucose en d'autres formes plus adaptées pour le stockage : les acides gras libres et les triglycérides. Ils vont être stockés dans le tissu adipeux (les acides gras libres donnant des triglycérides) ce qui en fait une réserve illimitée. Le pic d'insuline et la baisse de glucagon ont donc favorisés l'entrée du glucose dans le foie et le muscle, et leur transformation en forme de stockage (glycogène et graisses).

En phase de jeûne, il y a une baisse de la glycémie et donc, en réponse, une baisse de la sécrétion d'insuline et une augmentation de la sécrétion de glucagon. Il va y avoir dégradation du glycogène hépatique pour élever la glycémie (le glycogène musculaire est lui voué uniquement à la production de glucose-6-phosphate musculaire, il n'y a pas de sortie dans la circulation sanguine) et initiation de la néoglucogenèse hépatique à partir des acides aminés (*Figure 11*). Cela va aussi provoquer une libération d'acides gras libres à partir des triglycérides.

La dégradation du glycogène et la mobilisation des acides gras sont aussi retrouvés lors de l'exercice physique ou en période de stress.

Le **glycogène musculaire** est donc uniquement dédié à la synthèse de glucose-6-phosphate pour la cellule musculaire, celle-ci consommant énormément d'énergie, afin de garantir une source d'énergie avant le relai par le glucose de la voie sanguine.

Dans les **phases d'exercices intenses** et d'oxydation du glucose insuffisante, nous avons vu qu'il existait la voie de la glycolyse anaérobie où le glucose est transformé en lactate. Ce lactate va ensuite quitter le muscle pour aller dans la circulation sanguine et dans le foie afin de subir une néoglucogenèse et être transformé en glucose qui pourra être redirigé dans la circulation sanguine. Si le jeûne persiste et qu'il n'y a plus de glycogène ou de lactate, les protéines musculaires sont alors sollicitées pour maintenir la glycémie. Il va y avoir alors transport d'alanine (produite par transamination de certains acides aminés) vers la circulation sanguine et le foie afin d'alimenter la glycémie via la néoglucogenèse (*Figure 11*).

En revanche, dans les **phases de récupération** il va y avoir, de la part du foie, un relargage accru de glucose afin de refaire le stock de glycogène musculaire.

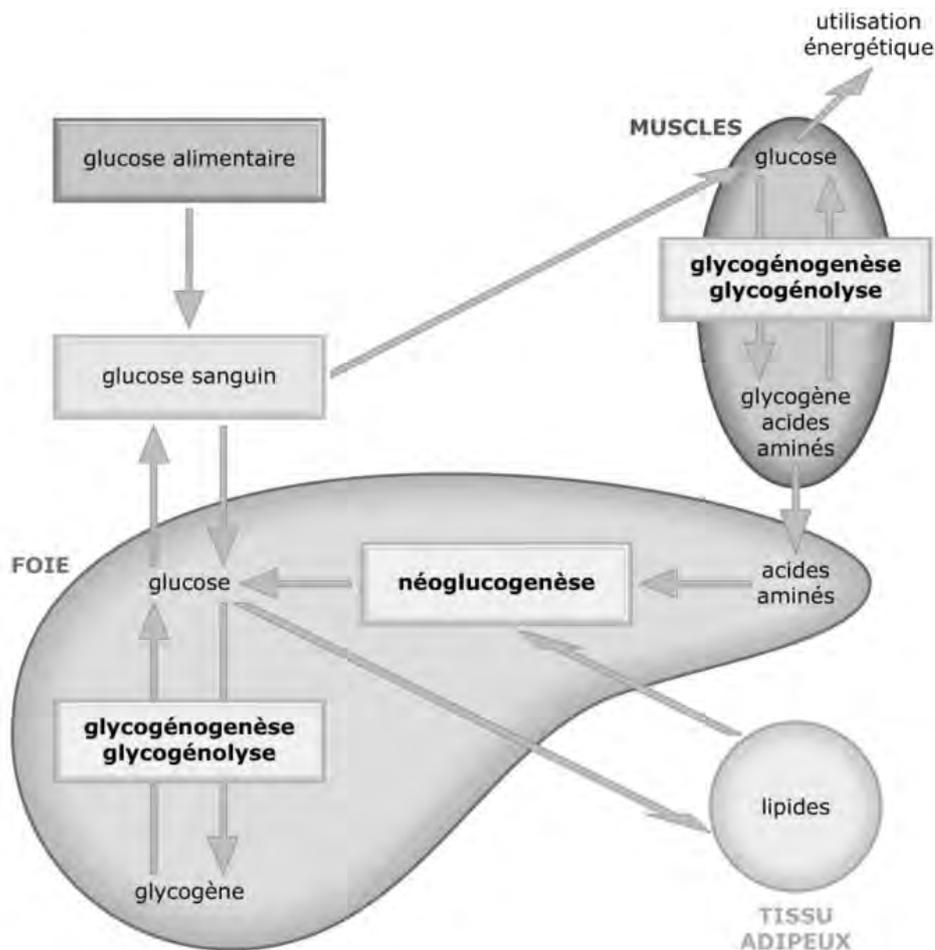


Figure 11 : Schéma du flux de glucose dans l'organisme¹⁷

La glycémie d'un adulte sain se situe entre 0,7g/L et 1,2g/L. Si la glycémie est au dessus (notamment supérieure à 1,4g/L) il y a dépassement de la capacité de résorption rénale du glucose et donc fuite de glucose dans les urines. Si la glycémie est en dessous il va y avoir un apport insuffisant au cerveau entraînant des malaises, des états de choc pouvant aller jusqu'au décès de l'individu.

L'organisme d'un adulte consomme en moyenne 180g de glucose par jour. Pour éviter la mobilisation trop importante des protéines (néoglucogenèse) et des lipides (lipolyse) il faudrait que l'ingestion de glucides corresponde à 25% (voire 20% en période de « sèche » sur une courte période) de l'énergie apportée, soit au minimum 100-120g/j pour un adulte.

Dans une alimentation classique équilibrée cet apport est de 40-50%, donc cela couvre parfaitement les besoins. Cela correspond alors à 3g-7g par Kg de poids de corps en fonction de l'activité physique et de l'objectif fixé (prise ou maintien de poids). Pour une période de sèche, on descendra alors à 2g-4g par Kg de poids de corps.

Les glucides constituent la part énergétique pure, elle va donc varier en fonction de la dépense énergétique et des objectifs. Une consommation trop importante en glucides

¹⁷ <https://planet-vie.ens.fr/article/1524/glucides-lipides-sources-energie-organisme>

augmente bien évidemment l'apport calorique journalier. Si le total des dépenses n'est pas augmenté en parallèle, l'organisme transforme les sucres en graisses et les stocke dans les cellules graisseuses, ce qui signifie une prise de poids (de masse grasse).

Au niveau de l'étiquetage des produits alimentaires, il faut savoir que les glucides totaux comprennent : les sucres simples, les sucres complexes et les polyols (*ils ne font quasiment pas varier la glycémie et n'apportent que 2.4 kcal par grammes (xylitol, maltitol, sorbitol, lactitol, isomalt, mannitol font partie de cette catégorie).*

De plus, nous pouvons nous intéresser brièvement à la signification des termes retrouvés sur les étiquettes des produits commercialisés :

- « **glucides totaux** » spécifie donc : amidon (sucres complexes) + sucres simples + polyols.
- « **sans sucre** » au **singulier** spécifie : que le produit ne contient pas de saccharose (sucre ordinaire) sous aucune forme. Il peut cependant contenir d'autres sucres simples comme le fructose par exemple.
- « **sans sucres** » au **pluriel** spécifie : que le produit ne contient aucun des sucres simples : ni fructose, ni glucose, ni lactose... Et ne contient pas de saccharose.
- « **avec édulcorant(s)** » spécifie : que le produit contient un ou des édulcorant(s) autorisés (polyols et/ou édulcorants acaloriques).
- « **avec sucre(s) et édulcorant(s)** » spécifie : que le produit contient à la fois du sucre (au singulier) ou des sucres (au pluriel) et un ou des édulcorants autorisés (polyols et/ou édulcorants acaloriques).

Il est donc important de bien connaître les glucides, où les retrouver, sous quelles formes, en quelle quantité et leurs rôles. Les notions d'index glycémique et de charge glycémique sont donc importantes à connaître afin d'adapter son alimentation à ses besoins. Ils peuvent, en excès, être stockés et provoquer des coups de fatigue par réaction insulémique qui va abaisser la glycémie.

Lors d'effort intense et de courte durée, les aliments ayant un index glycémique élevé et surtout ceux ayant une charge glycémique élevée vont être intéressants pour répondre au besoin immédiat d'énergie. À l'inverse, lors de sport d'endurance, les aliments ayant un index glycémique et une charge glycémique basse seront les plus adaptés.

Nous avons alors vu que pour notre organisme, le glucose ou le glycogène, sont en réalité des réserves "tampon" à l'activité physique (ou au jeûne). La véritable réserve en énergie étant les triglycérides stockés dans le tissu adipeux. Ils font partie des lipides dont les rôles multiples sont détaillés dans la partie suivante.

1.2. LES LIPIDES

1.2.1. Notions générales sur les lipides

Les lipides sont aussi appelés graisses. Ils vont être utilisés quand les efforts se prolongent, mais tout en restant des efforts de faible-moyenne intensité. En quantité, le corps stock beaucoup plus de lipides que de glucides (cela se voit évidemment sur les personnes en surpoids). De plus, la capacité énergétique des lipides par rapport aux glucides est beaucoup plus importante. Une quantité de lipides donnée apporte 9,4 Kcal/g alors que la même quantité de glucides en apporte 4,1 Kcal/g. Ainsi, ce sont des éléments souvent diabolisés car très énergétiques et qui, consommés en excès, favorisent (comme pour tout excès) la prise de poids.

Donc **les réserves d'énergie fournies par les lipides sont beaucoup plus importantes que celles provenant des glucides**. Enfin, l'organisme préfère les lipides comme réserve d'énergie primaire, car pour les glucides leur stockage nécessite des liaisons à l'eau et donc nécessite plus de place contrairement aux lipides. Cependant, ces lipides sont moins facilement accessibles pour notre métabolisme. En effet, ces lipides sont stockés sous forme de triglycérides et doivent être transformés en une forme plus basique, le glycérol, avant d'être lui même transformé en acides gras libres. Ce sont ces acides gras libres qui vont pouvoir fournir de l'ATP.

Pour une alimentation classique d'un adulte, cette **part lipidique représente 30-40% de l'apport énergétique total**. Cela se traduit par une consommation d'environ 100-110g de lipides par jour. Les lipides sont une source d'acides gras essentiels (les omégas 6 et 3) et sont des constituants indispensables des parois cellulaires. Ils sont également une source de vitamines A et E (antioxydants) et sont une source très importante d'énergie (calories) ce qui justifie le contrôle de leur apport.

Après ingestion, les lipides alimentaires vont être digérés par des enzymes spécifiques afin de les décomposer (hydrolyse) en forme plus basique (notamment en acides gras libres) et permettre leur absorption. Certains de ces produits de dégradation vont être absorbés directement dans la circulation veineuse gastrique, c'est le cas des acides gras à chaîne courte. Le reste des produits de dégradation va s'agréger avec les acides biliaires sous forme de micelles, réduisant ainsi la taille des particules de l'émulsion lipidique. Les produits formés seront ensuite absorbés par les cellules de la muqueuse du tube digestif et distribués dans l'organisme sous forme de lipoprotéines.

Il existe différents types de lipides. Ceux qui nous intéressent dans l'alimentation sont les acides gras, ils se subdivisent en plusieurs groupes : **les acides gras saturés, les acides gras mono-insaturés, les acides gras poly-insaturés et les acides gras insaturés trans**.

ACIDES GRAS	NOMBRE D'ATOMES DE CARBONE	FORMULE CHIMIQUE	SOURCE
Saturés			
Acide butyrique	4	C ₃ H ₇ COOH	Beurre
Acide caproïque	6	C ₅ H ₁₁ COOH	Beurre
Acide caprylique	8	C ₇ H ₁₅ COOH	Noix de coco
Acide caprique	10	C ₉ H ₁₉ COOH	Huile de palme
Acide laurique	12	C ₁₁ H ₂₃ COOH	Noix de coco
Acide myristique	14	C ₁₃ H ₂₇ COOH	Huile de muscade
Acide palmitique	16	C ₁₅ H ₃₁ COOH	Graisses
Acide stéarique	18	C ₁₇ H ₃₅ COOH	Graisses
Acide arachidique	20	C ₁₉ H ₃₉ COOH	Huile d'arachide
Monoinsaturés			
Acide palmitoléique	16	C ₁₅ H ₂₉ COOH	Beurre
Acide oléique	18	C ₁₇ H ₃₃ COOH	Huile d'olive
Polyinsaturés			
Acide linoléique	18	C ₁₇ H ₃₁ COOH	Huile de lin
Acide linolénique	18	C ₁₇ H ₂₉ COOH	Huile de lin
Acide arachidonique	20	C ₁₉ H ₃₁ COOH	Huile d'arachide

Tableau VI : Classification des principaux acides gras¹⁸

- **Les acides gras saturés** : ils sont présents dans les produits animaux, dans les produits à base d'huile de palme. Ils sont **hypercholestérolémiants** et majorent donc les risques cardio-vasculaires. Il n'est pas recommandé de les inclure dans un régime alimentaire et ils **ne doivent pas dépasser ¼ des apports en lipides**. Ils ne sont pas essentiels car l'organisme peut les fabriquer. Ils composent nos membranes cellulaires, certaines hormones (stéroïdiennes) et ils véhiculent les vitamines liposolubles (notamment A et D). *Ces acides gras vont donc être présents dans les viandes grasses, le lait entier, le beurre, la crème fraîche, l'huile de palme, les gâteaux, les pâtes à tartiner, le jaune d'œuf.*

- **Les acides gras mono-insaturés** : ils sont intéressants dans la **réduction du taux de LDL** et vont ainsi diminuer les risques cardiovasculaires. Ils participent à combattre les inflammations, ils garantissent la construction et l'intégrité des membranes cellulaires, ils participent au bon fonctionnement du système cérébral. Ils **devraient constituer la moitié des apports en lipides** selon le Programme National Nutrition Santé (PNNS). *On les retrouve dans l'huile d'olive, l'huile de colza, l'huile de soja, dans l'avocat, les cacahuètes, les amandes, les noix de cajou, les graines de sésame, les graines de tournesol.*

- **Les acides gras poly-insaturés** : ils ont également un effet de réduction des risques cardiovasculaires, mais sont moins efficaces que les mono-insaturés. Ils garantissent la construction et l'intégrité des membranes cellulaires et participent au bon fonctionnement du système cérébral, ils ont également un rôle anti inflammatoire via la synthèse de molécules prostaglandines. Selon le PNNS ils **ne doivent pas dépasser ¼ des apports lipidiques**. *Ils sont présents dans l'huile de tournesol, l'huile de maïs, l'huile de colza, l'huile*

¹⁸ <http://monde.ccdmd.qc.ca/ressource/?id=54290>

de foie de morue, l'huile de hareng, les noix, le hareng, le saumon, la sardine, le thon blanc. Dans ces acides gras poly insaturés nous retrouvons les omégas 3 et 6.

- **Les omégas 3** : ce seront les acides alpha-linolénique, eicosapentaénoïque (**EPA**) et docosahexaénoïque (**DHA**). Les acides gras EPA et DHA sont des acides arachidoniques. Il faudrait un apport minimum de 900 mg de ces omégas 3 par jour, des petites quantités d'aliments en contenant suffisent à atteindre cette valeur, mais ces aliments sont rares. Ces omégas 3 ont des actions anticoagulantes, anti-inflammatoires, agissent sur le développement de la fonction cérébrale et de la vision. Pour cela, il est recommandé de consommer du poisson gras 3 fois par semaines (*sardine, saumon, thon, hareng, crustacés*) ou 1 cuillère à soupe par jour d'huile riche en ces omégas 3 (*huile de colza, huile de soja, huile de noix*). Ils vont alors permettre la prévention des maladies cardiovasculaires et **l'amélioration des performances sportives.**

- **Les omégas 6** : ce seront les acides linoléique, gamma-linolénique, arachidonique. Ils sont beaucoup plus présents dans notre alimentation que les omégas 3, ce qui provoque souvent des déséquilibres. Ils ont aussi un rôle anti-inflammatoire mais leur excès provoque un terrain pro-inflammatoire. *On les retrouve dans l'huile de tournesol, l'huile de maïs, l'huile d'arachide, l'huile d'olive, les cacahuètes, les graines de tournesol.*

L'acide linoléique, l'acide alpha-linolénique, l'EPA et le DHA sont quatre acides gras poly insaturés essentiels car l'organisme ne peut les synthétiser.

- **Les acides gras trans** : véritable poison, **ils sont plus nocifs** que les acides gras saturés. Ils vont être produits lorsque les huiles végétales sont converties en graisses durcies (processus d'hydrogénation). **Il est recommandé de viser le 0 apport.** En effet, ces graisses vont augmenter le taux de LDL (« mauvais » cholestérol) sanguin et diminuer celui des HDL (« bon » cholestérol), provoquant ainsi de vrais risques cardiaques pour les consommateurs. Ces acides gras empêchent également la bonne utilisation des omégas 3 et 6 (sur les étiquettes des produits en supermarché, ils sont indiqués par les mentions "graisses hydrogénées" et "graisses partiellement hydrogénées"). Certains fabricants alimentaires les choisissent parce qu'ils sont bon marché, mais aussi parce qu'ils améliorent le goût de certains aliments et allongent leur durée de conservation. *Ces acides gras trans seront présents dans les biscuits industriels, les gâteaux, les aliments fris du commerce, les desserts glacés, les biscuits apéritifs.*

Une fausse méthode lorsque l'on veut perdre du poids est de supprimer totalement les apports en lipides. C'est une erreur, en effet cela provoque certaines carences et favorise un terrain inflammatoire, l'arrivée des blessures, la baisse de forme, l'augmentation du temps de récupération après effort. **Il faut donc préférer la consommation d'AG mono-insaturés ou poly-insaturés et éviter les acides gras saturés non indispensables.**

Ces différents groupes d'acides gras (saturés, mono-insaturés et poly-insaturés) sont donc structurellement apparentés, mais tout de même assez différents pour que l'organisme n'en fasse pas la même utilisation. L'alimentation doit apporter des éléments de chaque groupe en respectant une certaine proportion : nous avons vu que la moitié des apports en acides gras doit être basée sur les acides gras mono insaturés. Les acides gras saturés et poly insaturés doivent correspondre à un apport d'¼ chacun.

Il faut donc composer avec les différents aliments, connaître leur quantité et leur qualité lipidique. (Tableau VII)

Teneur (en gr) Lipides et Acides Gras, pour 100 gr d'aliments : Laitage et Fromage					Teneur (en gr) Lipides et Acides Gras, pour 100 gr d'aliments : Viande, Volaille, Charcuterie				
ALIMENT	Lipides	mono-insaturé	poly-insaturé	saturé	ALIMENT	Lipides	mono-insaturé	poly-insaturé	saturé
Chèvre sec	39,4	10,6	1,4	25,4	Lard, cru	70	29,3	6,3	30
Crème de lait épaisse	33,3	9,4	0,82	21,1	Rillettes	41,9	18,1	4,9	16
Roquefort	32,8	9,1	1,4	20,6	Saucisson sec	34,7	15,5	4,2	12,9
Comté	31,3	8,7	1,1	18,8	Saucisse de Strasbourg	27,7	12,7	3,3	10,2
Camembert et apparenté	25,8	7,5	0,75	16,2	Agneau, épaule, cru	25	9,5	1,2	12
Fromage frais 40 % nature	8	2,3	0,25	5,1	Porc, travers, cru	23,6	10,7	2,2	9,3
Yaourt au lait entier, nature	3,5	1	0,1	2,2	Langue, bœuf, cuite	17,9	8,2	0,67	7,7
Lait entier UHT	3,5	1,1	0,11	2,2	Agneau, côtelette, cru	16,5	6,3	0,77	8
Fromage frais 20 % nature	3,4	0,97	0,11	2,2	Porc, échine, cru	15	6,9	1,5	5,6
Lait demi-écrémé UHT	1,6	0,48	-1	0,95	Jambon sec, sans spécification	15	6,9	1,7	5,6
Yaourt nature	1,1	0,31	-1	0,7	Bœuf, entrecôte, grillé	11,8	5,6	0,47	5
					Bœuf bourguignon	8,2	3,5	0,6	3,4
					Pot-au-feu	7,3	3,5	0,38	3,1
					Veau, côte, cru	7	2,9	0,8	2,6
					Jambon cuit, sans spécification	6,5	3	0,75	2,3
					Poulet, viande et peau, rôti	6,2	2,9	1,2	1,8
					Bœuf, faux filet, grillé	6	2,7	0,27	2,6
					Canard, viande, cru	6	1,6	0,76	2,3
					Lapin, viande, cru	5,6	1,1	1,8	2,2
					Foie, volaille, cru	5,5	1,3	1,1	1,9
					Veau, filet, rôti	5,2	2	0,62	1,8
					Porc, filet, rôti maigre, cuit	4,8	2,2	0,58	1,7
					Cheval, viande, cru	4,6	1,5	1,1	1,7
					Rognon, veau, cru	4,4	0,96	0,87	1,4
					Bœuf, rosbif, rôti	4,1	1,9	0,16	1,7
					Veau, filet, cru	3	1,1	0,37	0,95
					Dinde, viande, crue	2,4	0,6	0,7	0,8

Teneur en Lipides et Acides Gras, pour 100 gr d'aliments : Poisson et Crustacé				
ALIMENT	Lipides	mono-insaturé	poly-insaturé	saturé
Maquereau, cuit au four	20,9	8,2	5,2	4,9
Sardine, à l'huile, conserve	13,7	4,7	4,9	2,8
Saumon, cru	10,1	3,6	3,5	1,9
Crabe ou tourteau, cuit à l'eau	5,2	1,3	1,8	0,66
Thon rouge grillé	6,3	2,1	3,3	1,6
Thon blanc conserve (eau)	2,9	2	0,8	0,8
Cabillaud / morue	0,9	0,1	0,5	0,2

Teneur (en gr) Lipides et Acides Gras, pour 100 gr d'aliments : Huile, Beurre, et autres graisses				
ALIMENT	Lipides	mono-insaturé	poly-insaturé	saturé
Huile mélangée, type Isio	99,9	39,2	44,9	11,5
Huile de tournesol	99,9	22,5	61,4	11,6
Huile de soja	99,9	20,5	60,5	14,1
Huile de pépins de raisin	99,9	15,6	67,7	12,2
Huile de noix	99,9	17,1	69	9,3
Huile de maïs	99,9	26,1	56,7	12,3
Huile de colza	99,9	64,3	25,5	6,2
Huile d'olive vierge	99,9	71	10	14,5
Huile d'arachide	99,9	45,2	30,1	19,8
Graisse d'oise	99,6	57,1	11	27,3
Saindoux	99	41,4	8,9	42,4
Beurre	83	23,5	2	52,6
Margarine tournesol	82,5	32,7	12,7	31

Teneur (en gr) Lipides et Acides Gras, pour 100 gr d'aliments : Divers				
ALIMENT	Lipides	mono-insaturé	poly-insaturé	saturé
Cacahuète	49	23,5	14	9,2
Chocolat à croquer	30	9,6	0,9	17,8
Quiche lorraine	26,2	10,2	2,2	11,7
Croissant	17,2	5,5	0,75	9,9
Croque-monsieur	16,2	4,9	1,2	8,5
Pomme de terre, frite, non salées	15	-2	-2	-2
Avocat, pulpe, frais	14,2	8,9	1,8	2,9
Œuf, entier, cru	10,5	4,2	1,3	3,1
Hamburger	9,6	4	1,1	3,3
Pizza, tomate et fromage	9,1	3,5	0,74	2,9
Glace	7,5	2,4	0,2	4,4

Teneur (en gr) des Acides Gras, pour 100 gr d'Huile				
Huiles	Mono-insaturé Oméga 9 acide Oléique	Poly-insaturé Oméga 6 acide Linoléique	Poly-insaturé Oméga 3 acide Linoléique	Saturé Palmitique + Stéarique
Olive	70	14	0,5	16
Colza	61	22	9	8
Arachide	50	30	0	20
Sésame	42	42	0,4	16
Maïs	27	58	0,8	14
Soja	22	56	7	15
Tournesol	22	67	0,1	11
Germes de blé	20	57	6	17
Noix	18	60	13	9
Pépins de raisins	16	70	0,3	14
Carthame	10	80	0,1	10

Acides gras POLY-INSATURES
acide Linoléique (oméga 6)
acide Alpha-linolénique (oméga 3)
acide Eicosapentaénoïque (EPA)
acide Docosahexaénoïque (DHA)

huile de colza, huile de tournesol
huile de lin, huile de foie de morue
huile de sésame, noix, hareng
maquereau, saumon, sardines
truite, thon blanc...

Acides gras MONO-INSATURES
acide nervonique (tous oméga 9)
acide palmitoléique (oméga 7)
acides oléique
acide érucique

huile d'olive, huile de sésame
huile de tournesol, huile de colza
huile de maïs, soja, arachide
viandes et poissons gras, charcuteries...
noisettes, amande, avocat,

Acides gras SATURES
Généralement les produits d'origine animale
agneau, veau, bœuf, charcuterie,
jaune d'œuf, beurre, fromage,
yaourt, noix de coco, huile de palme
graisses végétales
plats pré-cuisinés

Acides gras INSATURES TRANS
Produits fabriqués artificiellement
nourriture de la restauration rapide
fritures, beignets, biscuits, chips
pâtisserie industrielles,
certains produits laitiers

Tableau VII : Teneur en lipides et Acides gras pour 100g d'aliments¹⁵

1.2.2. Rôle des lipides

Bien qu'ils soient souvent diabolisés, traqués et éliminés de l'alimentation, les lipides sont essentiels au bon fonctionnement de l'organisme.

- **Rôle énergétique** : nous avons vu que leur capacité énergétique était de 9,4 Kcal/g de lipides. Cette énergie est donc utilisée immédiatement ou stockée dans les cellules graisseuses.
- **Rôle de transporteur** : Ils transportent les vitamines lipophiles (A, D, E, K).
- **Rôle structural** : chaque cellule est entourée d'une membrane composée en majorité de lipides (bi-couche lipidique) dont la qualité dépend de notre alimentation.
- **Rôle de précurseur métabolique** : certains lipides sont précurseurs métaboliques de prostaglandines.
- **Rôle hormonal** : ils rentrent dans l'élaboration de nombreuses hormones (œstrogène, progestérone, testostérone...).
- **Rôle de protection thermique du corps** grâce aux lipides de réserve.

Pour le sportif, l'apport calorique d'origine lipidique doit correspondre à **20-30% de l'apport énergétique total** ou **1g de lipides par kilo de poids de corps** (contre 30-40% pour une personne lambda, comme vu précédemment) avec des fluctuations particulières pour les phases d'entraînement et de compétition, ce que nous verrons plus pratiquement par la suite. De plus, le sportif doit privilégier une plus grande partie aux oméga 3. **Concrètement, pour le sportif il est souhaitable de réduire les acides gras saturés et de privilégier les acides gras mono-insaturés et poly-insaturés.** Pour rappel, le rôle énergétique des lipides n'est pas négligeable et les muscles utilisent aussi les acides gras comme source d'énergie.

Il faut également garder dans l'esprit un rapport simple et pratique, celui du rapport oméga 6 / oméga 3 qui doit se situer autour de 5 avec au minimum 2g d'oméga 3 par jour et donc 10g d'oméga 6.

Cet apport de 10 g/j d'oméga 6 est complètement couvert par une alimentation équilibrée contenant des viandes.

L'apport en oméga 3 de 2g/j pour les sportifs doit être mis en corrélation avec les 900 mg d'apport minimal pour la personne lambda. Il faudra donc 2 fois plus d'apport (2 cuillères à soupe d'huile de colza par jour au lieu d'une, et manger également du poisson gras encore au moins 3 fois par semaines).

Nous avons donc divers intérêts d'un bon apport en lipides pour le sportif :

- une action préventive anti-inflammatoire contre les blessures ;
- un fonctionnement optimal du système cardiovasculaire ;
- un fonctionnement optimal du cerveau et du système nerveux central essentiel pour l'optimisation des performances ;
- assurer une meilleure récupération ;
- permettre un bon équilibre hormonal.

Un élément est souvent décrié et chassé de l'alimentation à tort, il s'agit du **cholestérol**, il est essentiel au bon fonctionnement cellulaire, à leur structure, à la synthèse des neurotransmetteurs des neurones. Il est aussi précurseur de la vitamine D3 qui intervient dans la calcification osseuse. Ce cholestérol permet aussi la synthèse des certaines

hormones. Il est le précurseur des hormones stéroïdes (cortisol, cortisone, aldostérone) et des hormones stéroïdes sexuelles (progestérone, œstrogènes, testostérone). Pour assurer un apport optimal de cholestérol, il est important d'en connaître les sources (Tableau VIII).

Teneur en Cholestérol / 100 gr d'aliments	
Jaune d'oeuf	1200
Oeufs de saumon	450 à 700
Rognon, carvelle, ris de veau	300 à 400
Pâté de campagne et pâté de foie	250 à 400
Beurre	250
Homard, crevettes, crabe (tête)	120 à 250
Gâteau de Savoie	210
Sauce hollandaise	200
Huîtres n°3 (12)	180
Quiche lorraine	180
Mayonnaise	165
Langue de bœuf	140
Côtelette de porc	110
Crème fraîche à 30%	105
Gruyère	100
Veau, boudin	100
Steak	90
Camembert, roquefort	85-90
Jambon cuit	70 à 90
Gigot de mouton, steak de cheval	80
Poulet	60 à 80
Chocolat à croquer	75
Maquereau, Sardines à l'huile	70
Lait entier (100 ml)	12
1 portion de pâtes aux œufs (cuites)	8 à 12

Tableau VIII : Teneur en cholestérol pour 100g d'aliments¹⁵

S'il existe plusieurs types d'acides gras (poly-insaturés, mono-insaturés, saturés, et insaturés trans), il existe en revanche qu'un seul cholestérol. On entend cependant parler de « bon » et de « mauvais » cholestérol. Il s'agit en fait d'un abus de langage, qui cible en réalité les transporteurs de cholestérol dans la circulation sanguine : le "bon" cholestérol désigne les HDL (High Density Lipoprotein) chargés d'épurer l'organisme du cholestérol excédentaire, et le "mauvais" cholestérol désigne lui les LDL (Low Density Lipoprotein) chargés de distribuer du cholestérol aux cellules. Si les LDL sont dit "mauvais" c'est parce que certains d'entre eux ont des caractéristiques structurales qui favorisent le développement de l'athérosclérose.

1.2.3. Devenir des lipides stockés

Dans le foie et les tissus adipeux (principalement) va se dérouler la **lipogenèse** en postprandial : le glucose est transformé en pyruvate, incorporé dans les mitochondries et transformé en Acétyl Co-enzyme A. Cet Acétyl Co-enzyme A va ressortir de la mitochondrie en direction du cytosol où il donnera du Malonyl-CoA puis un acide gras : le palmitate, celui-ci pourra alors subir des transformations (élongations).

Lors de besoins énergétiques accrus, le glucagon, l'hormone de croissance et surtout les catécholamines (noradrénaline) vont activer la lipase hormonosensible. Celle-ci va, dans les adipocytes, provoquer l'hydrolyse des triglycérides en acides gras libres et en

glycérol suite à une cascade de réactions. Le glycérol de ces triglycérides va rejoindre le foie par la circulation sanguine et va rentrer dans le processus de **néoglucogenèse**. Les acides gras libres vont aussi aller dans la circulation sanguine où ils seront dissous dans le plasma (pour ceux à chaîne courte) ou liés à l'albumine (pour ceux à chaîne longue). Tous les tissus, excepté le cerveau et les globules rouges, vont être capables d'utiliser les acides gras libres pour la synthèse d'énergie. Lorsque le taux plasmatique d'acides gras est assez élevé il y aura une stimulation de la transformation des acides gras dans le foie en Acyl Co-enzyme A. Cet Acyl Co-enzyme A va être transporté dans les mitochondries par la carnitine et la bêta-oxydation va le transformer en Acétyl Co-enzyme A.

Lors d'un jeûne prolongé, il y aura accumulation d'Acétyl Co-enzyme A, et cela va entraîner la condensation de deux de ces molécules pour donner de l'acéto-acétyl Co-enzyme A puis la formation de corps cétoniques. **C'est la cétogenèse**. Les tissus peuvent par la suite utiliser ces corps cétoniques comme source d'énergie.

Les lipides ont donc des rôles très diverses et importants pour l'organisme. Les besoins en ces lipides pour un sportif vont légèrement varier d'une personne lambda. Au-delà d'une variation quantitative c'est surtout une variation qualitative qui nous intéresse. En effet les vertus de certains lipides (oméga 3 et oméga 6) seront extrêmement intéressantes pour le sportif, ces lipides permettront une meilleure récupération, une meilleure construction musculaire et permettront d'éviter les blessures de fatigue. Certains lipides seront toutefois à éviter comme les acides gras trans ou encore à limiter comme les acides gras saturés. La composition nutritionnelle des aliments en ces lipides doit donc guider l'individu vers les « bons » aliments et les aliments « à éviter ».

Ces lipides sont donc très importants, pourtant peu reconnus, et souvent mis de côté dans les plans alimentaires des sportifs. Ce qui n'est pas le cas des protéines qui sont les macronutriments les plus associés à l'idée que l'on se fait de la pratique sportive et des apports alimentaires nécessaires. Nous allons voir dans la partie suivante le rôle de ces protéines et ce qui en fait un élément si connu et incontournable du sportif.

1.3. LES PROTÉINES

1.3.1. Notions générales sur les protéines et rôle des protéines

Les protéines sont des nutriments souvent considérés comme essentiels chez le sportif et souvent apportés de manière excessive. Elles sont indispensables à la régénération de l'organisme après l'effort, au maintien et au développement de la masse musculaire. Cependant elles doivent être apportées dans une certaine mesure, l'excédant étant éliminé ou stocké sous forme de graisses.

Leur contribution à l'apport d'énergie est assez modeste et les protéines ne sont utilisées que dans certains cas où leur conversion en glucose sera alors nécessaire pour produire de l'énergie, c'est la **néoglucogenèse**. Les protéines peuvent fournir 5 à 10% de l'énergie nécessaire lors d'un exercice prolongé, il faudra alors que la conversion en glucose se fasse à partir de l'unité fondamentale des protéines : les acides aminés. La capacité énergétique des protéines sera de 4,25 Kcal/g de protéines en moyenne. Dans les cas de

privation alimentaire sévère, il peut même y avoir une transformation de ces protéines en acides gras, c'est la lipogenèse.

Ce sont des macromolécules en trois dimensions, présentes dans toutes les cellules, qui sont composées de chaînes polypeptidiques. Ces chaînes polypeptidiques sont des **enchaînements d'acides aminés** reliés par des liaisons peptidiques. La synthèse des protéines se fait par translation de la part de l'ARN. La séquence d'acides aminés d'une protéine est donc codée par l'ADN et ainsi elle est spécifique à chaque cellule. Ces protéines sont donc rarement identiques entre les espèces, alors que c'est le cas pour les glucides ou les lipides. Nous avons vu que leurs synthèses sont plus simples et régulées par des enzymes.

Ces protéines vont assurer une multitude de rôles dans les cellules et l'organisme entier :

- **Rôle dans les enzymes** (protéines qui vont catalyser les réactions de métabolisme de l'organisme).
- **Rôle structurel** dans les cellules (protéines du cytosquelette) ou dans les tissus (le collagène, l'actine).
- **Rôle de transporteur** de molécules d'un compartiment de l'organisme à un autre (transporteur cellulaire ou plasmatique).
- **Rôle dans le système immunitaire** (immunoglobulines).
- **Rôle dans la coagulation sanguine** (fibrinogène).
- **Rôle de récepteurs d'hormones.**

Une protéine est donc une macromolécule composée d'acides aminés reliés entre eux par une liaison peptidique, formant ainsi une ou plusieurs chaînes polypeptidiques. Bien qu'il existe dans la nature plus de 300 molécules d'acides aminés différentes, seul 20 d'entre elles participent à la composition des protéines, on les appelle donc acides aminés protéinogènes.

Après leur ingestion, les protéines sont digérées par des enzymes spécifiques de certaines liaisons. Ainsi, tout au long du tube digestif, les protéines sont digérées en peptides à chaînes de plus en plus courtes au fil de leur avancée. Toutes les protéines ne sont pas digérées de manière identique et entièrement. Il y aura in fine une absorption d'environ 70% d'acides aminés libres, 25% de di- et tripeptides et 5% de protéines par les cellules de la muqueuse digestive en direction de la veine porte.

1.3.2. Les acides aminés

Nous avons donc vu que les protéines étaient composées d'**acides aminés**. Il en existe 20, dit protéinogènes, qui peuvent être assemblés pour former ces protéines. On les distingue en trois groupes différents : les **acides aminés essentiels, semi-essentiels** et **non-essentiels**. (*Tableau IX*).

Il existe **8 acides aminés essentiels** à l'être humain. On dit qu'ils sont essentiels, car l'organisme ne peut pas les fabriquer lui-même, et a donc besoin d'un apport externe via l'alimentation. Il s'agit de **l'isoleucine, de la leucine, de la lysine, de la méthionine, de la phénylalanine, de la thréonine, du tryptophane et de la valine**. Parmi eux la leucine,

l'isoleucine et la valine sont appelés les **acides aminés branchés** (BCAA). Ce sont ceux qui sont les plus transaminés, ils servent de carburant au muscle pendant les exercices. Ils sont présents dans la majorité des sources de protéines. L'effet anabolisant de ces acides aminés ramifiés est dépendant de la sécrétion d'insuline (qui favorise l'entrée de ces acides aminés dans les cellules et la synthèse protéique générale).

L'arginine et l'histidine forment le groupe des acides aminés dits semi-essentiels. Dans certains cas (pathologies graves), ils devront être assimilés au travers de l'alimentation.

Les 10 acides aminés non-essentiels sont synthétisés par l'organisme lui-même. Il s'agit de **l'alanine, l'asparagine, l'aspartate, la cystéine, la glutamine, le glutamate, la glycine, la proline, la serine et la tyrosine.**

Acides aminés ESSENTIELS	Acides aminés SEMI-ESSENTIELS	Acides aminés NON ESSENTIELS
<p>ISOLEUCINE (ILE) LEUCINE (LEU) LYSINE (LYS) METHIONINE (MET) PHENYLALANINE (PHE) THREONINE (THR) TRYPTOPHANE (TRP) VALINE (VAL)</p>	<p>ARGININE (ARG) HISTIDINE (HIS)</p>	<p>ALANINE (ALA) ASPARAGINE (ASN) ASPARTATE (ASP) CYSTEINE (CYS) GLUTAMINE (GLN) GLUTAMATE (GLU) GLYCINE (GLY) PROLINE (PRO) SERINE (SER) TYROSINE (TYR)</p>

Tableau IX : Les acides aminés (**en gras** les 3 acides aminés branchés)

1.3.3. Les besoins en protéines

La **protéosynthèse** (ou l'anabolisme protéique) et la **protéolyse** (ou le catabolisme protéique) sont des processus se déroulant simultanément et constamment dans nos cellules, cela s'appelle le **turnover protéique**. Une protéolyse plus active qu'une protéosynthèse engendrera une diminution de la masse protéique corporelle, et l'inverse provoquera une augmentation de la masse protéique.

Chaque type de protéine possède un cycle de vie plus ou moins long, conférant à nos cellules un besoin plus ou moins important d'acides aminés libres à leur disposition (par exemple, les protéines hépatiques ont un cycle de vie plus court que les protéines musculaires). Les protéines doivent être apportées au quotidien par l'alimentation afin de couvrir les besoins.

En moyenne, l'organisme d'un homme sédentaire de taille et de corpulence moyenne (1.78 m pour 75 kg) **dégrade puis resynthétise 300g de protéines par jour**. Cela

signifie que, chaque jour, environ 300g de protéines seront retirés des muscles et des autres organes, pour être recyclés et être ensuite réutilisés dans d'autres muscles ou d'autres organes. Cependant, ce recyclage de protéines n'est pas efficace à 100%. Une part plus ou moins importante (en fonction de l'activité physique notamment) ne pourra pas être recyclée et sera supprimée du corps.

Pour une personne sédentaire (non sportive) cette part non recyclée, et donc à remplacer, est de l'ordre de **50g à 60g par jour**. Cela correspond, pour une personne non sportive avec une faible masse musculaire, à un apport de 0,8g à 1g de protéines par kilo de poids de corps. Ainsi, la masse musculaire est conservée, l'apport compense l'élimination des protéines. *Ces besoins protéiques sont valables pour un adulte sain, ils peuvent être bien plus élevés lors de certaines maladies (brûlures, cancers...) ou même restreints au minimum dans d'autres maladies (pathologies hépatiques, insuffisance rénale...).*

Pour la **pratique sportive**, cela va être différent. En effet, l'entraînement inflige un stress très important aux muscles, ce qui va dégrader beaucoup plus fortement les protéines musculaires. De plus, la masse musculaire du sujet (sportif) est plus importante. Donc, un sportif musclé devra compenser la dégradation quotidienne « standard » mais aussi la dépense provoquée par l'entraînement, et ensuite fournir suffisamment de protéines supplémentaires pour permettre une récupération musculaire et une croissance optimale.

On comprend bien que la quantité de protéines devra être nettement augmentée. **Cette augmentation se traduit en moyenne par une prise de 1,5g de protéines par kilo de poids corporel par jour**. Cette augmentation est à mettre en parallèle avec les différents objectifs vus dans la partie I (maintien de poids, prise de muscle, perte de graisse).

- Si **l'objectif est de maintenir son poids** en continuant l'activité et l'entraînement, alors l'apport énergétique devra être équilibré par rapport aux dépenses. Soit un apport de **1,2 à 1,6g de protéines/kg/j**.

- Si **l'objectif est de prendre du poids**, prendre du muscle et développer sa masse musculaire, alors l'apport énergétique devra être plus important quantitativement que les dépenses. Bien sur, de manière raisonnée, afin de ne pas être en excédent trop important et de stocker sous forme de gras. Soit un apport de **1,6 à 2g de protéines/kg/j**.

- Si **l'objectif est de perdre de la graisse**, de « sécher », alors l'apport énergétique devra être inférieur aux dépenses mais aussi de manière raisonnée car on cherche à faire éliminer la masse grasse et non la masse maigre. Si les dépenses sont vraiment trop intenses par rapport aux apports nous aurons une perte de masse maigre non souhaitée en complément de la perte de masse grasse. Soit un apport de **1,5 à 2g de protéines/kg/j**, cette valeur élevée s'explique par la volonté de maintenir la masse maigre et la force du sujet. De plus, nous diminuons l'apport calorique obtenu par les lipides et glucides au profit de ceux apportés par les protéines.

1.3.4. Les sources des protéines

Les sources des protéines sont distinguées par leur **teneur en protéines** et par leur **valeur biologique**. Cette valeur permet d'évaluer la qualité d'une protéine en fonction de sa composition en acides aminés essentiels. Plus la valeur biologique est élevée plus la protéine est de qualité optimale pour l'organisme. La valeur biologique exprime le pourcentage des acides aminés par gramme de protéine alimentaire, après ingestion, qui sera utilisé à des fins de synthèse protéique dans l'organisme. On calcule la valeur biologique en retranchant la quantité d'azote retrouvé dans les selles et les urines par rapport à la quantité d'azote absorbée. Cette valeur est donc à mettre en parallèle avec les valeurs de teneur en protéines afin de corrélérer la quantité protéique d'un aliment avec sa qualité de protéosynthèse pour l'organisme (*Tableaux X et XI*).

ALIMENT	Teneur /100 cr	ALIMENT	Teneur /100 cr	ALIMENT	Teneur /100 cr
Parmesan	40	Steak de boeuf maigre, grillé	22,7	Farine de blé complet	11,5
Farine de soja	37	Cantal, Chèvre (fromages)	22	Farine de blé blanc, blanchie	10,3
Veau, viande maigre	36,2	Crevettes	21,4	Orge	9,9
Agneau, viande maigre	35,5	Sardine	21	Pain complet	9,6
Porc, viande maigre	32,3	Camembert	21	Lentilles, cuites	9,1
Fromage de chèvre	32	Agneau (foie)	21	Haricots noirs	8,9
Boeuf, viande maigre	31	Crabes, homards	20,4	Pois chiches	8,9
Poulet en ragoût	30,4	Amandes	20	Haricots rouges	8,7
Dinde	29,3	Couscous (semoule cuite)	20	Special K (riz et blé complet)	8,5
Gruyère / Beaufort / Comté	30	Brie, Camembert, Munster (fromages)	20	Semoule de maïs	8,4
Steak haché de boeuf maigre	28,5	La plupart d'autres poissons	13 à 20	Pois cassés, cuits	8,3
Emmental (fromage)	28	Côte de porc	19,3	Pain blanc	8,2
Saumon	27,3	Son d'avoine brut	17,3	Tofu	8
Thon	27	Graines de soja	16,6	Haricots blancs, en conserve	7,3
Cacahuètes	26	Bacon	15,9	Beurre (allégé)	7
Crustacés (mollusques, palourdes, etc.)	25,6	Flocons d'avoine	15	Riz brun	6,9
Espadon	25,4	Anchois	14,5	Yaourt nature au lait écrémé	5,7
Poulet rôti (sans la peau)	25	Muesli All Bran Plus de Kellogg's	14	Noix de coco (sèche)	5,5
Lentilles	25	Saucisse (de porc)	13,9	Yaourt, allégé en matières grasses	5,2
Poissons plats (soles, aiglefin, etc.)	24,2	Farine de blé complet	13,7	Lait écrémé	3,4
Pois secs	24	Macaronis	13	Lait entier	3,3
Thon en conserve (dans l'eau, égoutté)	23,6	Couscous, sec (non cuit)	12,8	Brocoli	3
Colin, perche	23,5	Oeufs	12,6	Asperge	2,9
Canard, viande maigre	23,5	Farine de sarrasin	12,6	Epinard	2,8
Graines de tournesol	23,4	Pâtes	12,5	Lait de soja	2,7
Arachide	23	Fromage blanc	12,5	Pomme de terre au four	1,9
Morue	23	Biscuit au fromage	12,5	Avocat	1,7
Cantal, Roquefort (fromages)	23				

Tableau X : Teneur en protéines pour 100g d'aliments¹⁵

Aliment	Valeur biologique en %
Isolat de whey (partie sur les compléments alimentaires)	110
Concentré de whey (partie sur les compléments alimentaires)	104
Œuf entier	100
Lait de vache	91
Blanc d'œuf	88
Poisson	83
Bœuf	80
Caséine (partie sur les compléments alimentaires)	77
Poulet	79
Soja	74
Riz blanc	59
Blé	50
Lentilles	50
Haricots	49

Tableau XI : Valeur biologique des grands groupes d'aliments^{13, 19, 20}

Les **protéines d'origines animales** sont relativement riches en acides aminés essentiels et généralement plus riches que les **protéines végétales**. En ce qui concerne la digestibilité, elle est en général légèrement plus élevée pour les protéines animales que pour les protéines végétales.

Les aliments d'origine animale sont caractérisés par leur forte teneur en protéines de haute qualité nutritionnelle (composition en acides aminés indispensables, digestibilité, etc.). Il s'agit donc de la viande, du poisson, des œufs, du lait et des produits laitiers.

Certaines protéines végétales, peuvent présenter une teneur limitante en certains acides aminés indispensables, la lysine pour les céréales, et les acides aminés soufrés (méthionine, cystéine) pour les légumineuses. Pour obtenir une alimentation équilibrée en acides aminés à partir de protéines végétales, il est ainsi nécessaire d'associer différents aliments végétaux : des graines de légumineuses (lentille, fèves, pois...) avec des céréales (riz, blé, maïs...). Les aliments végétaux les plus riches en protéines sont ainsi les graines oléagineuses (cacahuètes, amandes, pistaches...), les légumineuses et leurs dérivés (tofu, pois chiche, haricots...) ou encore les céréales.

Les protéines animales sont dites complètes car elles contiennent tous les acides aminés. Le tofu et les protéines de soja contiennent également tous les acides aminés. Pour les protéines végétales certains acides aminés sont donc moins représentés. Pour retrouver un équilibre chez les végétariens il va donc falloir associer dans le même repas des céréales et des légumineuses ou bien ajouter une source d'origine animale (œuf ou laitage).

¹⁹ Anita Bean, l'Alimentation du sportif, édition Chantecler, 2005, 52-58

²⁰ <http://www.bodybuilding-coach.fr/metabolisme/les-proteines/inegalite-ente-les-proteines.htm>

Le *Tableau XII* synthétise les sources alimentaires et les rôles dans l'organisme de chaque acide aminé.

Acide aminé	Sources alimentaires	Rôles
Isoleucine	Produits laitiers, viandes (bœuf et veau surtout), œuf, soja, levure	Utilisé directement par le muscle (oxydation) en tant que substrat
Leucine	Produits laitiers, viande (bœuf), œuf, légumes secs, céréales, spiruline, levure	Effet anabolisant directement sur le muscle en favorisant la synthèse protéique au niveau des fibres musculaires
Valine	Produits laitiers, viandes, œuf, poissons, levure	Catalyse les réactions chimiques engendrées par la Leucine et l'Isoleucine, majorant ainsi le rôle anabolisant
Lysine	Produits laitiers, viandes, poissons, œuf. Absente dans la majorité des sources végétales	Métabolisme protéique général
Méthionine	Œuf, produits laitiers, poissons, viandes, noix du Brésil	Formation de la créatine phosphate, améliorant ainsi le rendement musculaire, surtout en phase anaérobie. Participation à la synthèse de l'acétylcholine
Phénylalanine	Œuf, produits laitiers, abats, légumes secs, soja	Précurseur de catécholamines (adrénaline et noradrénaline)
Thréonine	Œuf, produits laitiers, viandes, spiruline	Intervient dans un grand nombre de processus biochimiques
Tryptophane	Produits laitiers, viandes, poissons, œuf	Précurseur de la sérotonine
Arginine	Surtout présent dans les sources végétales : légumes secs, riz, noix, mandes, germe de blé	Synthèse de la créatine phosphate. Intervient dans le cycle de la formation de l'urée (élimination de l'ammoniaque). Intervient dans la constitution de la somatropine (hormone de croissance)

Histidine	Viandes (poulet, bœuf), fromage, abats	Rôle dans la transmission de l'influx nerveux et la contraction musculaire
Alanine	Viandes, poissons, abats, maïs, spiruline	Rôle glucoformateur dans le cycle de Krebs
Aspartate	Œuf, viandes, poissons, pomme de terre, légumes verts, soja	Transport de l'azote
Cystéine	Œuf, poissons, fromages, viandes	Composition et structure des protéines de protection et aussi dans la formation de la taurine
Glutamate	Produits laitiers, viandes, céréales	Transport sanguin de l'ammoniaque, rôle dans la composition de la glutamine (permettant la multiplication cellulaire) et du glutathion (transport d'oxygène)
Glycine	Gélatine, charcuterie, poissons, viandes, riz	Précurseur de la synthèse de la créatine : l'utilisation de la créatine phosphate constitue la première étape énergétique dans la contraction musculaire, aboutissant à la reconstitution de l'ATP
Proline	Produits laitiers, gélatine, viandes, céréales	Présent dans le tissu conjonctif et le collagène, rôle plastique et de protection
Serine	Œuf, produits laitiers	Intervient dans un grand nombre de processus biochimiques
Tyrosine	Produits laitiers, œuf, riz, levure	Intervient dans la synthèse des catécholamines, la dopamine, les hormones thyroïdiennes

Tableau XII : Les acides aminés : sources alimentaires et rôles biologiques. (**En gras** les acides aminés branchés).^{13, 19, 21}

²¹Henri Dupin, Jean-louis Cuq, M.-I. Malewiak, C. Leynaud-Rouaud, A.-M. Berthier, Alimentation et nutrition humaines, Édition ESF editeur, 1992, 132-134

Nous avons donc vu que, pour un sportif, l'apport en protéines doit avoisiner 1,8 à 2g par kg de poids de corps par jour. Cet apport doit pouvoir être obtenu par l'alimentation. Pour cela, il est important de savoir que tous les aliments ne contiennent pas les mêmes quantités et qualités en protéines. Les produits d'origine animale sont les sources les plus riches en protéines avec une valeur biologique la mieux classée. Si un individu ne désire que des sources d'origine végétale (végétarien), il devra jouer sur la diversité de ces sources afin de couvrir tous ses besoins en protéines. Enfin, chaque source alimentaire sera constituée d'acides aminés différents qui auront tous un rôle dans le fonctionnement optimal de l'organisme, il sera donc conseillé de diversifier ses sources de protéines afin de répondre à tous ses besoins.

Les macronutriments représentés par les glucides, les lipides et les protéines jouent donc des rôles multiples au sein de l'organisme. Tout d'abord, un rôle énergétique de part leur utilisation pour la fabrication d'ATP où glucides, lipides, protéines ne seront pas utilisés dans les mêmes conditions et de la même façon. Ces macronutriments ont également d'autres rôles : rôles structurels dans les cellules de l'organisme, rôles de transporteurs d'éléments indispensables, rôles dans la modulation du système immunitaire, rôles dans le bien être physique et mental...

Cependant, l'apport des macronutriments doit être raisonné et suivre les besoins de l'organisme. Ces besoins seront la conséquence des demandes du métabolisme de base d'un individu multiplié par l'ensemble des activités et événements quotidiens. Un déséquilibre des apports en regard des besoins sera néfaste pour l'individu et sa santé. Ce déséquilibre est souvent rapidement cerné par l'individu puisque l'apport énergétique qui sera insuffisant conduira à des pertes de poids ou même jusqu'au malaise, ou alors l'apport qui sera trop élevé conduira à des prises de poids.

Pour les micronutriments, ce déséquilibre sera moins facilement identifiable puisqu'ils n'exercent aucun rôle énergétique. Ils sont cependant indispensables au bon fonctionnement de l'organisme.

2. LES MICRONUTRIMENTS

Les micronutriments ne jouent aucun rôle énergétique, contrairement aux macronutriments. Ils sont cependant **essentiels au bon fonctionnement de l'organisme**. Les micronutriments vont participer au bon déroulement des réactions chimiques, ils vont être nécessaires pour le bien être physique et moral, ils vont participer au fonctionnement optimal des systèmes immunitaire et hormonal. On les retrouve dans l'organisme et dans l'alimentation en infime quantité, d'où leur nom de micronutriments.

Il va exister trois familles dans ces micronutriments : **les minéraux, les vitamines et les oligoéléments**. Nous allons alors voir en quoi ces nutriments sont essentiels à l'organisme, dans quels aliments nous pouvons les retrouver et quelles sont les quantités utiles.

2.1. LES MINÉRAUX

Les minéraux sont des substances minérales présentes dans l'alimentation. Très utiles à l'organisme, ils serviront à la construction de notre organisme (os, dent, cheveux, tissus cellulaires...) ainsi qu'à son fonctionnement (enzymes, hormones, neurotransmetteurs...).

L'apport en minéraux se fait par l'alimentation, chaque aliment contient des proportions différentes en ces minéraux. Une alimentation équilibrée suffit à couvrir les besoins. Un apport suffisant en minéraux doit être maintenu chez les sportifs qui sont potentiellement plus sujet aux carences de part la sur-utilisation de leur organisme. Une supplémentation excessive n'apportera rien sur le plan de l'efficacité. Les pertes en ces minéraux se font majoritairement par les urines, mais aussi par les selles et la sueur.

Ces minéraux, contrairement aux macronutriments ne sont pas une source d'énergie et n'apportent donc aucune calorie.

Nous aurons alors trois classes de minéraux : **les éléments majeurs** regroupant le sodium, le potassium, le calcium et le magnésium ; **les éléments plastiques** regroupant le phosphore et le soufre ; et enfin **les oligoéléments**.

Les Apports Nutritionnels Conseillés (ANC) en minéraux et oligoéléments (d'après Ambroise Martin, 2000)²² sont disponibles en annexe. Ces informations sont utilisables pour quantifier les apports conseillés en ces minéraux pour tout type de population.

Les valeurs écrites des teneurs en minéraux par aliment sont issues de la table nutritionnelle Cliqual 2017 de l'ANSES.²³

2.1.1. Les éléments majeurs

Dans ces éléments majeurs nous allons retrouver les minéraux les plus abondants du corps. Ces éléments participent aux fonctionnements essentiels et vitaux de l'organisme.

2.1.1.1. Le Sodium

Le sodium est un électrolyte essentiel à la régulation des flux hydriques intra et extra cellulaires et à l'influx nerveux.

Le sodium est très présent dans notre alimentation moderne, en particulier dans l'alimentation industrielle, les plats préparés. Il n'y a donc pas de carence en sodium mais plutôt un **excès qui est néfaste** pour notre système cardiovasculaire (hypertension) et pour l'acidification de l'organisme.

Les aliments les plus riches en sel sont les pains, charcuteries, poissons et viandes fumés, plats préparés, gâteaux apéritifs, sauces... (Tableau XIII). Il est conseillé de ne pas consommer plus de 6g de sel (chlorure de sodium) par jour, et dans 1g de sel on retrouve 400mg de sodium.

²² Apports Nutritionnels Conseillés de la population française en minéraux et oligoéléments, Ambroise Martin, Tech&Doc, 2000

²³ <https://ciqual.anses.fr>

Aliment	Teneur en Sodium (mg) pour 100g d'aliment	Teneur en sel Chlorure de sodium (g) pour 100g d'aliment
Sel blanc	39000	97,8
Olive noire à l'huile	3380	8,45
Jambon sec	2250	5,70
Saucisson sec	1900	4,75
Saumon fumé	1300	3,51
Ketchup	1030	2,59
Pain grillé	850	2,14
Crustacés	750	1,88
Poissons	300 à 170	0,75 à 0,43
Viandes (brochette de bœuf)	175	0,44
Viandes (poulet)	80	0,20
Tofu	140	0,35
Œuf cru	124	0,31
Légumes crues	60 à 1	0,15 à 0,003

Tableau XIII : Sources et teneurs en Sodium de quelques aliments, et correspondance en teneur en sel²³

Les principaux rôles du sodium sont :

- Équilibre hydrique de l'organisme
- Hydratation des cellules
- Régulation de la pression artérielle (rôle au niveau rénal)
- Contraction musculaire (cardiaque notamment)
- Maintien de l'équilibre acido-basique
- Excitabilité des muscles

L'hyponatrémie est donc valable surtout pour les épreuves intenses de très longue durée en condition de températures élevées où la transpiration est importante. Il faudra alors enrichir l'eau ingérée. En cas d'apport insuffisant en sodium par rapport au volume d'eau ingéré, il peut y avoir une hyponatrémie extrêmement néfaste (troubles neurologiques pouvant aller jusqu'au coma). Ainsi pour ces grands efforts il faudra un apport d'environ 400-500mg de sodium par heure, soit 1,2g de sel par litre de boisson par heure, voir plus en fonction des conditions de températures extérieures.

2.1.1.2. Le Potassium

Le potassium est sûrement le minéral le plus connu chez les sportifs avec le sodium. Il va participer à la régulation des mouvements hydriques, à la transmission et à la propagation de l'influx nerveux, à la régulation de la pression artérielle, à la bonne contraction musculaire et évite l'apparition de crampes et de courbatures. Les apports nutritionnels conseillés vont être de 2 à 6g par jour.

Aliment	Teneur en Potassium (mg) pour 100g d'aliment
Persil	4490
Café moulu	2020
Spiruline séchée	1360
Son de blé	1260
Œuf	1130
Abricot sec	1090
Pistache grillée	1020
Figue sèche	900
Légumes secs	800
Amandes	660
Avocat	650
Noix	450
Banane	400
Viande, poisson	300 à 400

Tableau XIV : Sources et teneurs en Potassium de quelques aliments²³

Le potassium est un électrolyte indispensable à la contraction musculaire (y compris du cœur). Une **carence en potassium** peut être due à un apport insuffisant, à *fortiori* si le sujet présente des pertes excessives par les urines ou par le tube digestif *via* les diarrhées ou les vomissements. Les symptômes seront alors : une fatigue générale, des crampes, une faiblesse musculaire voir des troubles du rythme cardiaque (palpitations, étourdissements, chute de la pression artérielle). La perte de potassium par la sueur est assez minime pour des sportifs s'entraînant de manière modérée, peu répétitive et sous conditions environnementales de températures favorables (c'est-à-dire des températures peu élevées). Cependant, pour des efforts se prolongeant et sous de fortes chaleurs, la sudation peut dépasser les cinq litres avec une perte de potassium associée, on parle en moyenne de 300 à 400mg de potassium perdus par litre de sueur. En plus de **la perte sudorale**, chez le sportif réalisant un effort intense, vient s'ajouter la perte urinaire en potassium. En effet, via le mécanisme de l'aldostérone (hormone antidiurétique), il va y avoir réabsorption d'eau et de sodium qui la suit. L'organisme utilise alors une balance d'échange avec le potassium pour permettre ces flux hydriques. Ainsi, il y a une élimination de potassium dans les urines pour une réabsorption d'eau et de sodium via la pompe sodium-potassium.

Si le niveau d'exercice devient intense, la durée longue et que les conditions climatiques sont chaudes, alors les pertes sudorales et urinaires deviennent importantes. Il faudra donc, pour ces épreuves intenses, avoir un apport supplémentaire en potassium de 300 à 400mg par litre et par heure.

Il n'est donc pas nécessaire d'apporter du potassium pendant un effort ci celui-ci est modéré et peu intense. L'alimentation variée suffit aux besoins de l'organisme. (Tableau XIV).

2.1.1.3. Le Calcium

Le calcium est l'élément **minéral le plus important de l'organisme** (1,6% du poids de corps). Il participe à l'édification et au renouvellement du squelette et des dents, à la transmission de l'influx nerveux, à la coagulation sanguine, à la contraction musculaire, aux échanges cellulaires, à la libération d'hormones...

Une alimentation équilibrée et variée suffit à couvrir les besoins.

Aliment	Teneur en Calcium (mg) pour 100g d'aliment
Herbes aromatiques (thym, basilic, sarriette, romarin...)	Entre 2240 (basilic) et 1200 (fenouil)
Parmesan, gruyère	1100
Graines de sésame	962
Mozzarella	497
Sardines	380
Poireau	252
Amandes, noisettes	250
Choux	210
Soja	200
Œuf	129
Lait	125
Epinards	117
Fromage blanc nature 8%MG	104
Riz blanc	100

Tableau XV : Sources et teneurs en Calcium de quelques aliments²³

Les produits laitiers constituent donc une bonne source de calcium, avec cependant une grande diversité de teneur en fonction des produits. Nous retrouvons aussi certains légumes à feuilles, les choux, et les fruits secs dans les aliments riches en calcium (*Tableau XV*). Il est indispensable d'assurer un bon apport en calcium afin de maintenir une bonne constitution osseuse et une bonne récupération du sportif.

Les apports conseillés chez un adulte sain sont de 900mg/j.

2.1.1.4. Le Magnésium

Le magnésium est très abondant dans notre organisme puisque le corps humain en contient 24g, il est impliqué dans l'excitabilité neuromusculaire, dans les systèmes de production et de transport de l'ATP, c'est un régulateur des métabolismes lipidique et glucidique. Les sources potentielles d'apport sont résumées dans le *tableau XVI* ci-dessous.

Les Apports nutritionnels conseillés pour les adultes sont de 420mg pour les hommes et 360mg pour les femmes. Les carences d'apports en magnésium donnent des signes cliniques souvent bien connus : hyperexcitabilité neuromusculaire, spasmothilées.

Aliment	Teneur en Magnésium (mg) pour 100g d'aliment
Poudre de cacao	500
Sel marin gris	500
Persil	386
Noix du Brésil	367
Son d'avoine	235
Amandes	232
Cacahuètes	193
Chocolat noir 70%	180
Légumes secs	100 à 150
Céréales complètes	100
Fruits secs	50
Fruits de mer	50
Banane	30

Tableau XVI : Sources et teneur en Magnésium de quelques aliments²³

La pratique sportive augmente les pertes notamment par la sueur (entre 30 et 40mg de magnésium perdus par litre de sueur et par heure). Si l'effort est intense ou si les entraînements sont répétitifs un complément en magnésium peut être envisagé afin d'éviter les déficits amenant aux signes cliniques (**crampes notamment**). L'apport conseillé est donc de 5mg de magnésium par kg de poids par jour, sans dépasser le double des apports nutritionnels conseillés.

Ces minéraux dits majeurs vont donc être présents en quantité importante pour des micronutriments. Ils vont être utilisés dans les processus les plus essentiels et vitaux de l'organisme, une carence en ces éléments peut devenir très délétère pour l'individu concerné. Nous allons maintenant nous intéresser aux minéraux dits plastiques : le Phosphore et le Souffre.

2.1.2. Les éléments plastiques

Les éléments peuvent avoir un rôle plastique quand ils rentrent directement dans la composition des composés organiques.

2.1.2.1. Le Phosphore

Le Phosphore est le **deuxième minéral le plus important du corps humain** après le calcium. Cet élément minéral joue un rôle essentiel dans de nombreuses molécules de la matière vivante. On le trouve associé à des combinaisons organiques multiples, dans les acides nucléiques, les ADN et ARN dont il constitue le squelette ainsi qu'à de nombreux protides et lipides qu'on qualifie de phosphoprotéines et de phospholipides. C'est le composant central de l'ATP (adénosine triphosphorique) producteur d'énergie lorsqu'elle

libère un atome de phosphore en se transformant en ADP. Il participe également à la constitution des os et des dents, à l'équilibre acido-basique.

Aliment	Teneur en Phosphore (mg) pour 100g d'aliment
Levure alimentaire	1100
Son de blé	1030
Œuf	980
Fromages	800 à 1000
Graines et oléagineux	350 à 1000
Viande et poisson	250 à 1000
Céréales	200 à 600
Lait et yaourt	100 à 150
Fruits et légumes	20 à 100

Tableau XVII : Sources et teneurs en Phosphore de quelques aliments²³

Le phosphore est donc présent dans la grande majorité des aliments (*Tableau XVII*). Ainsi, il existe peu de risque de carence en phosphore. L'apport nutritionnel conseillé est de 750mg par jour.

2.1.2.2. Le soufre

Le soufre est le constituant de deux des vingt acides aminés indispensables à la formation des protéines : **la méthionine et la cystéine**. La méthionine fait partie des huit acides aminés essentiels pour l'homme, son organisme ne peut pas la synthétiser en quantité suffisante. Il doit donc la trouver dans les produits végétaux et animaux de son alimentation. Le Co-enzyme A contient également du soufre et les liaisons disulfures entre polypeptides jouent un rôle très important dans l'assemblage et la structure des protéines.

Le soufre provient principalement des **aliments contenant des protéines animales**. Les viandes, les poissons, les fruits de mer et les œufs sont très riches en acides aminés soufrés. Le soufre se retrouve également dans les alliacés (ail, échalote), certains légumes (choux, asperge) et les fruits oléagineux (noisette, noix).

Le soufre est donc important, de part son implication dans la formation d'acides aminés indispensables, de la récupération musculaire et la réduction de la fatigue physique. Il n'existe pourtant pas d'apports conseillés définis.

Nous avons vu les quatre éléments majeurs (le sodium, le potassium, le calcium et le magnésium) et les deux éléments plastiques (le phosphore et le soufre), leurs rôles pour l'organisme, leurs sources et leurs quantités utiles.

Nous allons maintenant nous intéresser aux oligoéléments, ce sont des éléments à l'état de trace dans l'organisme mais qui sont essentiels à celui-ci.

2.1.3. Les Oligoéléments

Les oligoéléments sont des minéraux présents dans l'organisme à **l'état de trace** (moins de 1/10000 de l'organisme). Ils ne sont **pas produits par l'organisme** et doivent donc être ingérés grâce à un apport alimentaire. Ils sont cependant nécessaires à de nombreuses fonctions biologiques et métaboliques au niveau cellulaire et leur carence entraîne des dysfonctionnements.

Il existe des éléments traces dit « **essentiels** » qui ont un rôle physiologique connu (croissance, développement), leur apport alimentaire est indispensable et leur carence entraîne des troubles majeurs. Ils sont au nombre de 14 : Chrome, Cobalt, Cuivre, Etain, Fer, Fluor, Iode, Manganèse, Molybdène, Nickel, Sélénium, Silicium, Vanadium, Zinc.

Il existe aussi des éléments trace dit « **non essentiels** » qui ne sont pas indispensables à l'organisme, il s'agit de l'Argent, du Bismuth, du Lithium et de l'Or.

Une **alimentation équilibrée** ne provoque pas de carence en oligoéléments. Cependant, sous l'effet d'un exercice physique régulier, certains oligoéléments sont susceptibles de voir leurs besoins augmenter (par leur utilisation directe de l'organisme, ou par les pertes sudorales et urinaires accrues). Il s'agit principalement du Chrome, du Cuivre, du Fluor, de l'Iode, du Manganèse, du Sélénium et du Zinc.

La supplémentation n'est pas pour autant à incorporer systématiquement. En effet, il existe de nombreuses interactions complexes entre ces éléments pouvant entraîner un déséquilibre d'assimilation et d'utilisation métabolique. Il est alors préférable d'incorporer dans les menus du sportif des aliments riches en ces oligoéléments, et garder des « cures » en ces éléments ponctuels (2-3 fois par an) afin de répondre à des symptômes particuliers.

Les aliments à forte teneur en oligoéléments vont être entre autre la levure de bière, les fruits de mer, les germes de blé... Le Tableau XVIII ci dessous résume les apports conseillés (pour adulte), les rôles, indications et les sources des principaux oligoéléments.

Oligoélément	Apports conseillés Journaliers	Rôles	Indications	Sources
Chrome	65µg	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Renforce l'action de l'insuline. 	Affaiblissement musculaire, régularisation de syndrome glucidique (diabète)	Levure de bière, poivre noir, foie, rognons, germe de blé, champignons, betterave...
Cobalt	Quelques µg	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Participe à la formation de la vitamine B12 ; ▪ Intervient dans les réactions hormonales. 	Troubles circulatoire, nervosité	Foie, langouste, lait, jaune d'œuf, figue...
Cuivre	1,5mg	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Catalyseur dans la formation de l'hémoglobine ; ▪ Anti radicaux libre ; ▪ Stimule les défenses immunitaires ; ▪ Antibactérien ; ▪ Anti-inflammatoire. 	Infections diverses (grippe, rhume), fatigue, anémie	Abats, céréales, huîtres, fruits secs, légumes verts, amandes, foie de veau, thé, cacao...
Fer	9mg pour les hommes 16mg pour les femmes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Synthèse hémoglobine et myoglobine ; ▪ Synthèse d'enzyme. 	Anémie, fatigue physique et intellectuelle, infections diverses	Viandes maigres, foie, légumes à feuilles vert sombre, céréales entières, fruits séchés, coquillages...
Fluor	2,5mg	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Constituant de l'email dentaire. 	Problème dentaire et de croissance	Sel de table enrichi, thé, fruits de mer, poissons...

Oligoélément	Apports conseillés Journaliers	Rôles	Indications	Sources
Iode	150µg	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Participe à la formation des hormones thyroïdiennes. 	Croissance, fatigue, blessures	Algues marines, soja, hareng fumé, ail, crevettes...
Manganèse	2mg	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contribue au métabolisme osseux ; ▪ Joue sur la régulation du système nerveux. 	Douleur articulaire, fracture, migraine	Légumes verts, betteraves, jaune d'œuf, thé, clous de girofle, gingembre, germe de blé...
Molybdène	30-50µg	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fonctionnement de plusieurs enzymes ; ▪ Métabolisme de certains acides aminés ; ▪ Croissance des os ; ▪ Structure des dents ; ▪ Métabolisme du fer. 	Entéropathies, fatigue, troubles de la croissance	Viandes, fruits de mer, céréales complètes, sarrasin, lentilles, graines de tournesol, légumes secs...
Nickel	75µg	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Assimilation et métabolisme du fer ; ▪ Participe à l'action d'enzyme ; ▪ Intervient dans le métabolisme de la méthionine. 	Affections digestive, ballonnements, problème de bon fonctionnement pancréatique	Viandes, cacao, noisettes, froment, chou, épinards, betteraves, graines de soja, persil, riz entier...

Oligoélément	Apports conseillés Journaliers	Rôles	Indications	Sources
Sélénium	50-60µg	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Antioxydant par la neutralisation des radicaux libres ; ▪ Stimule le système immunitaire ; ▪ Préserve le capital santé des cheveux et des ongles et aide la peau à conserver son élasticité. 	Renforce la peau, fatigue, infections	Foie, rognons, produits laitiers, morue, hareng, thon, huîtres, céréales complètes, levure de bière, germe de blé, tomates, brocolis...
Zinc	10-12mg	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Participe à la croissance ; ▪ Participe à la reproduction cellulaire ; ▪ Participe à l'augmentation du nombre de lymphocyte T. 	Cicatrisation, fatigue, acné, stimule le système immunitaire	Pois, brocolis, épinards, fruits de mer, céréales complètes, champignons, levure de bière...

Tableau XVIII : Les oligoéléments - Apports conseillés - Rôles - Indications – Sources²²

Le fer est l'oligoélément le plus important, il est d'ailleurs souvent considéré comme un élément minéral majeur. L'organisme en contient 4 à 6g principalement dans l'hémoglobine (70%), le reste se situe majoritairement dans le foie, la rate, la moelle.

Il est indispensable à la synthèse de l'hémoglobine (qui transporte l'oxygène dans les globules rouges) et de la myoglobine (protéines du muscle qui permet de stocker aussi de l'oxygène). Ce fer permet aussi la synthèse d'enzymes.

Les besoins nutritionnels conseillés sont de 9mg pour les hommes contre 16mg pour les femmes en âge de procréer.

Les bonnes sources de fer sont donc : les abats, le boudin noir, les fruits de mer ; le chocolat, les charcuteries, les œufs.

Aliment	Teneur en Fer (mg) pour 100g d'aliment
Persil	38
Foie de canard	30
Spiruline séchée	28
Boudin noir	23
Chocolat noir	23
Gingembre	20
Son de blé	15
Moule	10
Autres foies	6 à 12
Légumes secs	8 à 10
Epinard	3
Levure de bière	3

Tableau XIX : Sources et teneurs en Fer de quelques aliments^{22, 23}

Cependant pour le fer, outre la quantité, c'est la qualité et son origine dont il faut se méfier. En effet, l'organisme humain n'absorbe pas de la même manière le fer d'origine animale, ou fer ferreux (héminique, Fe^{2+}), et celui d'origine végétale, ou fer ferrique (non héminique, Fe^{3+}). Ainsi, le fer contenu dans les produits carnés est 2,5 fois mieux assimilé que le fer des produits végétaux et des produits laitiers.

Les carences en fer conduisent à l'anémie, à une baisse des résistances aux infections, une diminution des capacités physiques et intellectuelles.

Les oligoéléments sont donc indispensables au bon fonctionnement de l'organisme, leur carence entraîne des troubles majeurs chez les individus. Pour les sportifs, il est nécessaire d'avoir cette notion en sachant qu'une alimentation équilibrée suffit à couvrir les besoins. Il faudra alors diversifier son alimentation afin d'être sûr de couvrir tous ses besoins. Lors d'affections particulières (maladies de la sphère ORL, fatigue, problème de peau...) le sportif pourra compléter son alimentation par l'apport d'oligoéléments sous forme de cures courtes.

Cette notion de micronutrition indispensable se retrouve également avec les vitamines où l'alimentation variée et équilibrée suffit à couvrir les besoins. Pour les sportifs chez qui l'organisme est stimulé d'avantage et parfois poussé dans ses limites, une supplémentation doit aussi être envisagée.

2.2. LES VITAMINES

Les vitamines sont **indispensables**, comme les minéraux, au développement et au fonctionnement de l'organisme. Le corps est incapable de les synthétiser, à l'exception de deux d'entre elles (les vitamines K et D). Les vitamines interviennent dans de nombreuses fonctions biologiques : croissance et développement de l'organisme, transformation et utilisation des nutriments, vision, coagulation du sang, système immunitaire, musculaire, nerveux...

Une **alimentation variée et équilibrée couvre les besoins** en ces vitamines et permet de lutter contre de nombreuses pathologies (vieillesse, maladies cardio vasculaire, cancers, infections...). Un défaut d'apport en vitamines entraîne des déficits voire des carences provoquant des pathologies.

Il existe deux types de vitamines :

- Les lipophiles (vitamines A, D, E, K) qui peuvent se dissoudre dans les graisses. Elles sont stockées dans le tissu adipeux et dans le foie. Ainsi, l'organisme possède une capacité à les accumuler pouvant provoquer des effets néfastes en cas de surdosage.
- Les hydrophiles (vitamines C et du groupes B) qui peuvent se dissoudre dans l'eau. Leur élimination se fait par les urines, ainsi leur stockage est moins élevé.

Les Apports Nutritionnels Conseillés (ANC) en vitamines sont disponibles en annexe²⁴. Ces informations sont utilisables pour quantifier les apports conseillés en ces vitamines pour tout type de population.

Les valeurs écrites des teneurs en vitamines par aliments sont issues de la table nutritionnelle Cliqual 2017 de l'ANSES²³.

2.2.1. Les vitamines liposolubles

Les vitamines liposolubles (A, D, E et K) sont absorbées en même temps que les lipides et sont stockables dans l'organisme. Il est donc difficile de les éliminer.

2.2.1.1. Vitamine A

La vitamine A possède un rôle dans la croissance cellulaire et est donc importante pour la croissance chez les enfants et les adolescents. Elle est indispensable à une bonne vision (en particulier dans l'obscurité), elle participe au bon état de la peau et des muqueuses, elle possède une action sur le système immunitaire et est antioxydante. Elle est sensible à l'oxygène et à la lumière.

Le zinc participe à l'absorption et au métabolisme de la vitamine A. De plus, ces deux composants ont des complémentarités d'action : sur la vision, sur l'état de la peau et des muqueuses, sur le système immunitaire. Tous deux sont également antioxydants. Ils sont donc souvent associés dans les compléments alimentaires.

Sous forme de rétinol, elle est présente seulement dans les produits issus d'animaux. Les aliments les plus riches sont les huiles de foies de poisson et les foies d'animaux, les produits laitiers gras, les poissons gras et les œufs.

Les caroténoïdes (notamment le bêta-carotène) sont les précurseurs végétaux du rétinol que le corps convertit (6µg de caroténoïdes donnent 1µg de rétinol). Ces caroténoïdes ont aussi un rôle antioxydant. Ils sont présents dans les fruits oranges et rouges ainsi que dans les légumes verts foncés et de couleurs jaune, rouge, orange : patates douces, brocolis, carottes, abricots, légumes feuilles...

²⁴ Apports nutritionnels conseillés pour la population française en vitamines. 3^{ème} édition. Ambroise Martin, Tech&Doc, 2000.

Aliment	Portion	Vitamine A (mcg) ÉAR
Légumes et fruits		
<i>Légumes</i>		
Patate douce, avec pelure, cuite	1 moyenne	1096
Citrouille, en conserve	125 ml (½ tasse)	1007
Jus de carottes	125 ml (½ tasse)	966
Carottes, cuites	125 ml (½ tasse)	653 - 709
Courge musquée, cuite	125 ml (½ tasse)	604
Bette à carde, cuite	125 ml (½ tasse)	566
Carottes, petites, crues	8 carottes (80 g)	552
Chou cavalier, cuit	125 ml (½ tasse)	406 - 516
Carotte, crue	1 moyenne (61 g)	509
Chou vert frisé, frais ou congelé, cuit	125 ml (½ tasse)	468 - 505
Épinard, cuit	125 ml (½ tasse)	498
Feuilles de navet, cuites	125 ml (½ tasse)	290 - 466
Cocktails de jus de légumes et de fruits	125 ml (½ tasse)	267
Laitue romaine	250 ml (1 tasse)	258
Laitue, feuilles rouges	250 ml (1 tasse)	218
Bok choy, cuit	125 ml (½ tasse)	190
Rapini, cuit	125 ml (½ tasse)	150
Poivron rouge, cuit	125 ml (½ tasse)	106
<i>Fruits</i>		
Abricots, séchés	60 ml (¼ tasse)	191
Abricots, en conserve	125 ml (½ tasse)	169
Cantaloup, cru	125 ml (½ tasse)	143
Produits céréaliers	Ce groupe alimentaire contient très peu de cet élément nutritif.	
Laits et substituts		
<i>Fromage</i>		
Chèvre, ferme	50 g (1 ½ oz)	243
Cheddar fondu, sans gras	50 g (1 ½ oz)	220
Chèvre, semi-mou	50 g (1 ½ oz)	204
Muenster, neufchâtel, gruyère, cheddar, colby	50 g (1 ½ oz)	132 - 158
Ricotta	125 ml (½ tasse)	140 - 156
Bleu, Roquefort	50 g (1 ½ oz)	99 - 147
Cheddar fondu, en tranches	50 g (1 ½ oz)	125
<i>Lait</i>		
Écrémé, 1%, 2%, au chocolat	250 ml (1 tasse)	137 - 163
Homogénéisé à 3.3%	250 ml (1 tasse)	119
Boisson de soya	250 ml (1 tasse)	103 - 104
Viandes et substituts		
<i>Abats</i>		
Foie, dinde, cuit*	75 g (2 ½ oz)	16950
Foie, veau, cuit*	75 g (2 ½ oz)	15052 - 15859
Abats, dinde, cuits*	75 g (2 ½ oz)	8053
Foie, boeuf, cuit*	75 g (2 ½ oz)	5808 - 7082
Foie, agneau, cuit*	75 g (2 ½ oz)	5618 - 5836
Foie, porc, cuit*	75 g (2 ½ oz)	4054
Foie, poulet, cuit*	75 g (2 ½ oz)	3222
<i>Poissons et fruits de mer</i>		
Anguille, cuite	75 g (2 ½ oz)	853
Thon, rouge, cru ou cuit	75 g (2 ½ oz)	491 - 568
Hareng, mariné	75 g (2 ½ oz)	194
Maquereau, cuit	75 g (2 ½ oz)	189
Palourdes, cuites	75 g (2 ½ oz)	128
Saumon, quinnat, cuit	75 g (2 ½ oz)	112 - 118
Huîtres, cuites	75 g (2 ½ oz)	110
Tassergal, cuit	75 g (2 ½ oz)	104
<i>Viandes et substituts</i>		
Oeuf, cuit	2 gros	190 - 252
Matières grasses et huiles		
Huile de foie de morue	5 ml (1 c. à thé)	1382

Tableau XX : Sources et teneurs en Vitamine A (exprimés en équivalent d'activité du rétinol) pour quelques aliments²⁵

²⁵ <https://www.dietitians.ca/Downloads/Factsheets/Food-Sources-of-Vitamin-A-FRE.aspx>

Les apports nutritionnels conseillés par jour sont, pour les adultes, de 800µg pour les hommes à 600µg pour les femmes.

Les pathologies associées à un défaut d'apport en vitamine A sont la fatigue, le risque infectieux, un défaut de vision notamment nocturne et un assèchement des muqueuses. Le sportif, voulant améliorer ses résultats, doit alors avoir en tête qu'une carence en vitamine A impacterait sur ses performances de part l'action de cette vitamine sur la **fatigue générale** et ses **capacités antioxydantes**.

L'excès de vitamine A est toxique et peut provoquer des malformations pour le fœtus. En thérapeutique, cette vitamine est utilisée pour le traitement de l'acné.

2.2.1.2. Vitamine D

La vitamine D possède un rôle de **minéralisation** et de renouvellement des os lors de la croissance et tout au long de la vie. La vitamine D participe au niveau intestinal à l'absorption du calcium et du phosphore, et donc à **l'homéostasie phospho-calcique**. Sa consommation est donc recommandée dans la prévention de l'ostéoporose. Elle participe également au **bon fonctionnement des muscles** et à la régulation cardiaque. Une déficience favorise faiblesse et hypotonie musculaire. La vitamine D agit dans le maintien des **défenses immunitaires** de l'organisme, donc elle sera intéressante en prévention des infections (de la sphère ORL notamment).

De part ces points, on comprend alors le risque que peut avoir une carence en vitamine D chez un sportif. La supplémentation en cette vitamine est alors primordiale chez un athlète dépassant ses limites physiques.

La source principale de cette vitamine est endogène, cette vitamine est formée par une exposition régulière au soleil, on la retrouve aussi dans les poissons gras, les œufs, la margarine. Cette vitamine aussi est sensible à l'oxygène et à la lumière.

Aliment	Teneur en Vitamine D (µg) pour 100g d'aliment
Huile de foie de morue	250
Hareng fumé	22
Anguille	16
Sardine	14
Cacahuète	10,3
Saumon	8,6
Margarine	7,5
Thon	7,8
Cèpe	3,1
Œuf	2

Tableau XXI : Sources et teneurs en Vitamine D de quelques aliments²³

Les apports nutritionnels conseillés par jour sont, pour les adultes, de 5µg.

Les pathologies associées à un défaut d'apport en vitamine D sont le rachitisme et l'ostéoporose.

2.2.1.3. Vitamine E

La vitamine E possède un rôle antioxydant en particulier au niveau des membranes cellulaires et des lipoprotéines, elle participe aussi à la synthèse de l'hème de l'hémoglobine, elle possède également des effets préventifs sur les maladies cardiovasculaires et sur la fertilité, enfin elle participe à l'hydratation des épithéliums.

Cette vitamine possède une **complémentarité d'action avec le sélénium** de part leurs actions antioxydantes, sur l'état de fatigue générale et sur le bien être des épithéliums. C'est pourquoi on les retrouve souvent associés dans les suppléments pour sportif.

On la retrouve dans les huiles végétales, germe de blé, noix, olives, graines de tournesol, avocat.

Aliment	Teneur en Vitamine E (mg) pour 100g d'aliment
Huile de germe de blé	149
Huile de tournesol	63,9
Huile de foie de morue	30
Graines de tournesol	26
Pomme Golden (peau principalement)	25
Amande grillée	23
Huile d'olive vierge extra	21,7
Persil séché	8,96
Jaune d'œuf	3,89

Tableau XXII : Sources et teneurs en Vitamine E de quelques aliments²³

Les apports nutritionnels conseillés par jour sont, pour les adultes, de 12mg.

Les pathologies associées à un défaut d'apport en Vitamine E sont principalement un durcissement des gaines tendineuses, des anémies hémolytiques, des neuropathies et une stérilité.

2.2.1.4. Vitamine K

La Vitamine K est indispensable à la coagulation sanguine (favorise la synthèse des facteurs de la coagulation) et permet la fixation du calcium sur l'os.

Elle est principalement synthétisée par les bactéries endogènes intestinales, mais est également apportée par l'alimentation en particulier grâce aux légumes verts (brocoli, chou, épinard, laitue) et à l'huile de soja.

Les besoins en vitamine K sont très faibles car le mécanisme de recyclage de la vitamine K de l'organisme est très efficace. Les apports nutritionnels conseillés par jour sont, pour les adultes, de 45µg.

Des troubles hémorragiques sont la pathologie principale d'un défaut d'apport en Vitamine K.

Aliment	Teneur en Vitamine K (μg) pour 100g d'aliment
Basilic séché	1710
Persil séché	1360
Chou frisé cuit	817
Epinard cuit	494
Huile de soja	362
Endive	231
Chou de Bruxelles cuit	194
Brocoli cuit	141
Laitue crue	123
Huile d'olive vierge extra	60,2
Cuisse de poulet	34,3
Jaune d'œuf	32,1
Beurre	15

Tableau XXIII : Sources et teneurs en Vitamine K de quelques aliments²³

2.2.2. Les vitamines hydrosolubles

Les vitamines hydrosolubles (Vitamine C et Vitamines du groupe B) se dissolvent en milieu aqueux. À l'exception de la Vitamine B12, les vitamines hydrosolubles excédentaires sont éliminées, le corps ne peut les stocker. **Ces vitamines sont thermosensibles** donc les cuissons vont diminuer la teneur des aliments en ces vitamines.

2.2.2.1. Vitamine C

Autre vitamine très connue du grand public, la Vitamine C possède des rôles multiples. Elle permet la stabilité du tissu conjonctif, la cicatrisation, stimule les réactions de défenses de l'organisme contre les agents infectieux, et est impliquée dans les mécanismes d'absorption intestinale du fer. Elle a également des propriétés antioxydantes, donc protectrices des cellules.

Ses sources sont tous les végétaux, et particulièrement le cassis, la goyave, le kiwi, le chou, les agrumes. La vitamine C est très fragile notamment face à l'oxygène et à la chaleur.

Les apports nutritionnels conseillés par jour sont, pour les adultes, de 110mg. Une activité physique intense et régulière peut fatiguer l'organisme et ainsi provoquer une faiblesse passagère contre les agents infectieux.

De plus, les sportifs comme les marathoniens, réalisant une épreuve longue et stressante pour l'organisme, provoquent à leurs corps un stress oxydant qui pourra générer des dommages (musculaires) délétères à la réalisation d'une performance de qualité. Ainsi, **la vitamine C, par ses propriétés antioxydantes et immunostimulantes, est intéressante chez le sportif** notamment pour les durées courtes mais intenses de la compétition. Elle pourra s'avérer intéressante dans les semaines qui précèdent le début de la compétition, servant ainsi de « **bouclier protecteur** ». Il en sera de même en vue d'une charge d'entraînement particulièrement importante, par exemple lors de week-ends riche en

activités (compétition). Ainsi, l'alimentation pourra être enrichie en cette vitamine afin de créer une protection contre ces problèmes et améliorer les performances.

Aliment	Teneur en Vitamine C (mg) pour 100g d'aliment
Goyave crue	228
Poivron jaune cru	184
Cassis cru	181
Persil séché	177
Poivron rouge cru	159
Chou frisé cru	145
Poivron vert cru	92,2
Brocoli cru	106
Kiwi cru	92,7
Poivron rouge cuit	81
Poivron vert cuit	74,4
Litchi cru	71,5
Pamplemousse	61
Orange	57
Citron	51
Chou frisé cuit	41
Brocoli cuit	23,9

Tableau XXIV : Sources et teneurs en Vitamine C de quelques aliments²³

2.2.2.2. Vitamine B1 (ou Thiamine)

La Vitamine B1 est importante au bon fonctionnement de la muqueuse intestinale et de la conduction de l'influx nerveux. Elle intervient également sur le métabolisme des glucides et la production d'énergie.

On la retrouve principalement dans les céréales complètes, les légumineuses, la levure alimentaire, les pommes de terre.

Aliment	Teneur en Vitamine B1 (mg) pour 100g d'aliment
Levure alimentaire	11,6
Son de riz	2,75
Spiruline séchée	2,38
Graine de tournesol	1,98
Graine de lin	1,22
Pétales de maïs nature	1,06
Céréales complètes soufflées	1,05
Barre de céréales aux amandes	1
Pomme de terre	0,12

Tableau XXV : Sources et teneurs en Vitamine B1 de quelques aliments²³

Les apports nutritionnels conseillés par jour sont, pour les adultes, de 1,3mg pour les hommes et 1,1mg pour les femmes.

Les pathologies associées à un défaut d'apport en cette vitamine sont des insuffisances cardiaques avec troubles neurologiques (le béribéri) et l'encéphalopathie alcoolique.

2.2.2.3. Vitamine B2 (ou Riboflavine)

La Vitamine B2 intervient dans l'utilisation des glucides, des acides gras et des protéines, dans le métabolisme énergétique. Elle participe au mécanisme d'oxydoréduction dans les mitochondries. Elle est aussi antioxydante pour les cellules. Elle intervient dans les phénomènes de vision et favorise le bon état de la peau et des muqueuses.

On la retrouve surtout dans la levure, le foie et les rognons, dans les produits laitiers, les fruits de mer, les œufs, les champignons.

Aliment	Teneur en Vitamine B2 (mg) pour 100g d'aliment
Foie d'agneau cuit	4,31
Fromage à pâte molle	4,2
Spiruline	3,67
Rognon de bœuf cuit	2,97
Persil séché	2,32
Jambonneau cuit	1,81
Calamar en encornet cuit à l'eau	1,73
Foie de veau cuit	1,72
Pétales de maïs nature	1,33
Céréales complètes soufflées	1,3
Œuf cru	0,45
Champignon cru	0,42

Tableau XXVI : Sources et teneurs en Vitamine B2 pour quelques aliments²³

Les apports nutritionnels conseillés par jour sont, pour les adultes, de 1,6mg pour les hommes et 1,5mg pour les femmes.

Les pathologies associées à un défaut d'apport vont être principalement des lésions cutanées et au niveau des muqueuses.

2.2.2.4. Vitamine B3 (ou PP ou Niacine)

La Vitamine B3 est présente elle aussi dans le métabolisme énergétique des glucides, lipides et protéines. Elle participe à la synthèse des hormones sexuelles, à la production des globules rouges, à la respiration cellulaire et à la réparation de l'ADN.

Les sources majeures sont la levure, les viandes, les poissons, les céréales (surtout complètes) et les champignons.

Aliment	Teneur en Vitamine B3 (mg) pour 100g d'aliment
Son de riz	34
Son de blé	21,6
Céréales pour petit déjeuner	19,5
Chips de pommes de terre	19,4
Thon cru	19,4
Foie de veau cuit	18,8
Levure alimentaire	18,5
Café moulu	15
Pétales de maïs nature	15
Cacahuète	14,4
Céréales complètes soufflées	14,3
Magret de canard grillé	13,5
Escalope de dinde sautée	13,5
Spiruline séchée	12,8
Barre de céréales aux amandes	12,6
Champignons	4,55

Tableau XXVII : Sources et teneurs en Vitamine B3 de quelques aliments²³

Les apports nutritionnels conseillés par jour sont, pour les adultes, de 14mg pour les hommes et 11mg pour les femmes.

Les pathologies associées à un défaut d'apport en cette vitamine sont des inflammations des muqueuses digestives, des lésions eczémateuses, des troubles nerveux (pellagre).

2.2.2.5. Vitamine B5 (ou Acide pantothénique)

Cette Vitamine B5 va également participer au métabolisme énergétique des lipides, à la fabrication de certaines hormones, à la transmission de l'influx nerveux, à la production des globules rouges et à la division cellulaire, c'est également le constituant majeur du Coenzyme A.

Les sources alimentaires principales sont la levure, les viandes, les poissons, les abats, les graines oléagineuses, les légumes secs, la banane, l'avocat. Mais on la retrouve dans tous les aliments.

Les apports nutritionnels conseillés par jour sont, pour les adultes, de 5mg.

Aliment	Teneur en Vitamine B5 (mg) pour 100mg d'aliment
Shiitaké (champignon) séché	21,9
Son de riz	7,39
Graine de tournesol grillée	7,04
Céréales pour petit déjeuner	6,98
Muesli aux fruits secs	6,75
Foie d'agneau	6,13
Pétales de maïs natures	5,51
Levure alimentaire	5,14
Spiruline séchée	3,48
Magret de canard grillé	3,4
Rognon de porc	2,87
Œuf gru	1,57
Avocat	0,77
Banane	0,3

Tableau XXVIII : Sources et teneurs en Vitamine B5 de quelques aliments²³

2.2.2.6. Vitamine B6 (ou Pyridoxine)

La Vitamine B6 participe au métabolisme des acides aminés, à la régulation de la glycémie, à l'absorption du magnésium, à la synthèse de l'ADN et de l'hémoglobine, à l'utilisation des acides gras par les mitochondries, à la synthèse des neurotransmetteurs.

On la retrouve dans tous les aliments : dans les viandes, les poissons, les œufs, les produits laitiers, la banane, l'avocat...

Aliment	Teneur en Vitamine B6 (mg) pour 100g d'aliment
Son de riz	4,07
Menthe	2,58
Ail cru	1,99
Céréales pour petit déjeuner	1,89
Oignon séché	1,6
Pétales de maïs nature	1,42
Pistache grillée	1,41
Saumon fumé	1
Magret de canard grillé	0,98
Thon cru	0,97
Biscotte	0,94
Levure alimentaire	0,88
Banane crue	0,38
Avocat cru	0,12

Tableau XXIX : Sources et teneurs en Vitamine B6 de quelques aliments²³

Les apports nutritionnels conseillés par jour sont, pour les adultes, de 1,8mg pour les hommes et 1,5mg pour les femmes.

Les pathologies associées à un défaut d'apport en cette vitamine sont une baisse de l'immunité, des troubles nerveux, des artérioscléroses et un arrêt de croissance.

2.2.2.7. Vitamine B8 (ou H, ou Biotine)

La Vitamine B8 intervient dans la synthèse des acides gras et des purines. Elle participe aussi au métabolisme énergétique et à celui des glucides et des protéines.

Elle est présente surtout dans les abats (foie), les œufs, la levure de bière, la banane, le chou-fleur, les champignons.

Aliment	Teneur en Vitamine B8 (mg) pour 100g d'aliment
Levure alimentaire	0,4
Levure de bière	0,09
Foie	0,03 à 0,13
Banane	0,01
Champignon	0,012
Avocat	0,01
Steak	0,0045
Pain complet	0,003

Tableau XXX : Sources et teneur en Vitamine B8 de quelques aliments²⁶

Les apports nutritionnels conseillés par jour sont, pour les adultes, de 0,05mg.

Les pathologies associées à un défaut d'apport vont être la fatigue, des nausées, des douleurs musculaires, de l'anorexie, des troubles cutanés, de la somnolence.

2.2.2.8. Vitamine B9 (ou Acide folique)

Cette Vitamine B9 a un rôle clé dans le renouvellement de toutes les cellules de l'organisme (participe au métabolisme des acides aminés, ADN, et ARN). Elle est également impliquée dans la synthèse des neuromédiateurs, elle agit sur les globules rouges, elle assure la bonne oxygénation cellulaire. Elle possède un rôle important en permettant la fermeture du tube neural chez le fœtus.

Les sources les plus importantes en cette vitamine sont : la levure, les légumes verts (épinard, cresson, blettes, oseille, chou), les abats (foie), les noisettes, les céréales complètes, le soja.

Les apports nutritionnels conseillés par jour sont, pour les adultes, de 0,3mg.

L'anémie par insuffisance du nombre de globules rouges et l'insuffisance des plaquettes sont la principale pathologie d'un apport insuffisant en acide folique.

²⁶ <http://www.guide-vitamines.org/vitamines/vitamine-b8/aliments-riches-vitamine-b8.html>

Aliment	Teneur en Vitamine B9 (mg) pour 100g d'aliment
Foie	1,6 à 0,5
Levure alimentaire	0,7
Menthe séchée	0,5
Haricot blanc	0,3
Graine de soja	0,3
Graine de tournesol	0,25
Céréales pour petit déjeuner	0,23
Quinoa	0,18
Lentille	0,18
Pétales de maïs nature	0,16
Brocoli cru	0,15
Œuf	0.03

Tableau XXXI : sources et teneurs en Vitamine B9 de quelques aliments²³

2.2.2.9. Vitamine B12 (ou Cobalamine)

La Cobalamine est une vitamine coenzyme du métabolisme des acides aminés. Elle participe également à la production des globules rouges et au transport de l'oxygène. Sa carence entraîne de l'anémie.

On la retrouve principalement dans les abats (foie, rognon), le jaune d'œuf, les viandes, les poissons, les coquillages, les produits laitiers.

Les apports nutritionnels conseillés par jour sont, pour les adultes, de 2,4µg.

Aliment	Teneur en Vitamine B12 (µg) pour 100g d'aliment
Foie et rognon	96 à 33
Huîtres	28,6
Anchois	20,9
Moules cuites à l'eau	17,6
Sardine	13,7
Hareng fumé	11,8
Bulot cuit	4,61
Cheval	4,05
Jaune d'œuf	3,03
Côtelette d'agneau grillée	2,8
Plat de côte de bœuf	2,57

Tableau XXXII : Sources et teneurs en Vitamine B12 de quelques aliments²³

Aspects pratiques des vitamines chez le sportif :

Ces vitamines du groupe B ont donc des rôles importants et divers au sein de l'organisme (production d'énergie, production des globules rouges, synthèse des protéines, réparation des tissus...).

Les **vitamines B1, B2, B3 et B6** sont indispensables au métabolisme glucidique, elles auront donc une importance dans les sports de force où ce métabolisme est sollicité. Pour les sports d'endurance, les **vitamines antioxydantes (C, A et E)** vont être intéressantes puisqu'elles neutralisent les effets des radicaux libres produits lors du stress oxydatif causé par ce type d'activité physique.

Ainsi, une déficience en ces vitamines pourrait faire apparaître de la fatigue, des pertes de poids, de la fonte musculaire, un affaiblissement du système immunitaire... La récupération du sportif après une séance d'entraînement serait donc de moins bonne qualité faisant apparaître le risque de blessures de fatigue ou de diminution des performances.

Une alimentation variée et diversifiée, avec des produits de qualité permet de remplir les besoins quotidiens en ces vitamines qu'il faut apporter en quantité suffisante et de manière régulière.

Ces macro et micronutriments sont donc essentiels au métabolisme de base de chaque individu. Ces nutriments vont garantir la bonne santé physique et mentale de l'individu en intervenant sur tous les métabolismes de l'organisme. Ces nutriments sont disponibles dans notre alimentation, celle-ci devant être la mieux réglée possible afin de répondre au mieux aux besoins de notre quotidien. Il faudra ainsi éviter certains aliments dont la qualité nutritionnelle est pauvre (les éléments raffinés) et privilégier ceux à la fois riches et sains (les éléments naturels et complets).

Un élément est commun à chaque nutriment : il s'agit de **l'eau** apporté par **l'hydratation**. Cette eau peut être directement le vecteur de plusieurs micronutriments ou alors participer aux interactions entre eux et les macronutriments. Dans la partie suivante nous verrons alors l'importance de cette hydratation pour l'organisme, en particulier lors d'activités physiques, comment et pourquoi l'enrichir, quelles sont les quantités utiles.

3. L'HYDRATATION

L'eau est **essentielle à la vie**. Elle représente entre 60 et 70% du poids du corps humain, c'est le premier constituant de l'organisme. Les muscles sont constitués à plus de 73% d'eau. L'organisme ne possède qu'une réserve restreinte d'eau qu'il faudra renouveler par l'hydratation. La soif est le signal physiologique d'une déshydratation, celle-ci prolongée peut entraîner des troubles sévères voir mortels. Il faudra alors incorporer une hydratation adaptée à la pratique sportive et anticipée par rapport à cette sensation de soif.

3.1. PRÉSENTATION ET RÔLES DE L'EAU, LES DIFFÉRENTS FLUX HYDRIQUES DE L'ORGANISME

L'eau possède plusieurs **rôles fondamentaux** :

- **Rôle plastique**, en qualité de constituant principal de nos cellules et tissus.
- **Rôle de transporteur** des éléments nutritifs et des déchets. L'eau va permettre l'échange de micronutriments entre les cellules (2/3 de l'eau se trouve sous forme intracellulaire et le reste sous forme extracellulaire).
- **Rôle dans la balance électrolytique** de l'organisme.
- **Rôle dans la régulation de l'acidité du sang.**
- **Rôle dans la régulation de la volémie sanguine.**
- **Rôle thermique** puisque l'eau est le vecteur de la thermorégulation. Elle est utilisée pour refroidir l'organisme par les flux sanguins lors de vasodilatations et par le phénomène de sudation permettant la perte de calories par évaporation transcutanée.

Quotidiennement, l'organisme subit des **pertes en eau** (environ 2,3 litres). Les valeurs données sont celles des pertes physiologiques de base :

- **Pertes urinaires** : 1,4 litre par jour. Cette voie d'élimination de l'eau est la plus importante de l'organisme et sa valeur varie énormément pouvant être de seulement 0,5 litre à plusieurs litres par jour. L'urine a pour but l'élimination rénale des déchets de l'organisme et la régulation des volumes de liquide de l'organisme afin de maintenir une pression artérielle normale.
- **Pertes cutanées** : 0,4 litre par jour. Cette voie d'excrétion est celle de la transpiration. Le but étant de maintenir une température corporelle constante, *à fortiori* lors d'une activité physique où la température corporelle augmente, et, où les pertes d'eau sous forme de sueur peuvent atteindre plusieurs litres par heure. Avec cette sueur, des minéraux seront également évacués (Sodium : 0,9 g/L de sueur ; Potassium : 0,2 g/L ; Calcium : 0,015 g/L ; Magnésium : 0,0013 g/L).
- **Pertes pulmonaires** : 0,4 litre par jour. C'est la voie de la respiration où lors de la phase d'expiration, l'organisme va, en plus de l'air, évacuer de l'eau. Lors d'une activité physique le débit respiratoire et sa vitesse peuvent augmenter, pouvant faire grimper l'élimination à 0,6 litre par jour.
- **Pertes fécales** : 0,1 litre par jour. Cette élimination peut augmenter en cas de pathologies (diarrhée) ou lors d'une accélération de transit observée dans certains sports (d'endurance surtout).

Ces pertes doivent être compensées par des **apports hydriques quotidiens et réguliers**. L'eau contenue dans les différents aliments apporte environ 1 litre par jour. Le reste doit être couvert par l'apport des boissons, au moins 1,5L par jour réparti dans la journée. Cet Apport qui devra être majoré lors de températures élevées, mais également pendant et après l'activité sportive.

L'eau est la seule boisson indispensable au bon fonctionnement de l'organisme dans lequel tous les processus se déroulent grâce à elle : fonctionnement des cellules, des enzymes, du système cardiovasculaires, système nerveux, régulation de la température corporelle... La perte en eau, *à fortiori* chez les sportifs, se fait tout au long de la journée :

par les urines, les selles, la respiration, la sueur. Cette perte en eau va dépendre du type d'activité, la durée, l'intensité, la température ambiante, le niveau d'entraînement...

La **sensation de soif**, utile pour que l'individu ait l'information du besoin d'eau de l'organisme, est en réalité un mauvais indicateur de la nécessité d'ingestion d'eau car cela reflète déjà une **déshydratation** en cours. La sensation de soif correspond en réalité à une perte de 1% du poids du corps : ce qui provoquerait une **perte de 10% des capacités physiques** pour le sportif (Figure 12). Cette perte des capacités physiques étant proportionnelle à la perte d'eau, on comprend facilement l'intérêt d'une bonne hydratation et donc d'anticiper la soif.

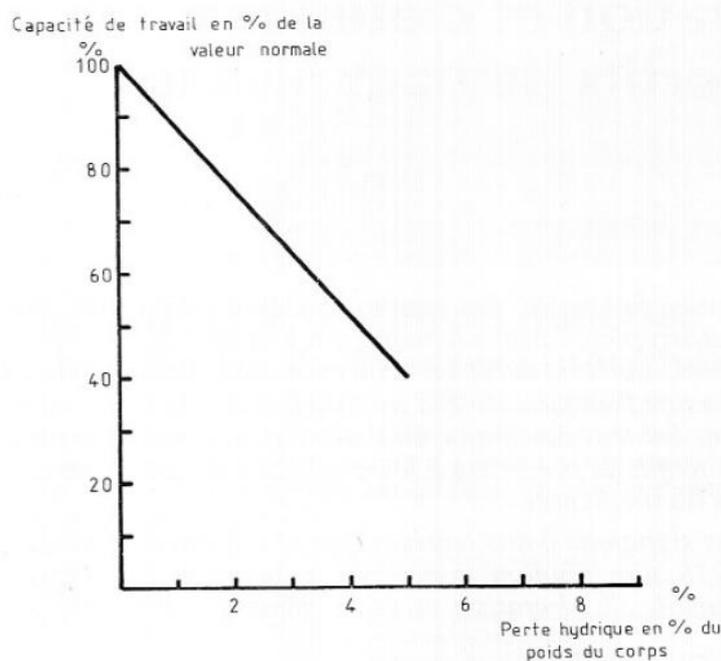


Figure 12 : Relation entre la perte hydrique et la capacité de travail²⁷

Si la question de la déshydratation est essentielle et doit occuper les esprits, c'est que **le sportif n'est pas toujours en condition optimale pour s'hydrater suffisamment**. Ceci est dû dans un premier temps à la pratique sportive qui ne lui permet pas de satisfaire une hydratation suffisante quand il le souhaite (attendre les temps morts, les mi temps...). De plus, pour d'autres sports comme la course à pied, prendre le temps de s'hydrater freine l'allure de l'athlète. La prise d'eau en quantité importante va également causer des **ballonnements**. Enfin, pour certains sports à catégories de poids, la déshydratation peut être une solution à une perte ponctuelle de poids... Cependant, une hydratation suffisante et régulière va permettre d'éviter les déshydratations chroniques et donc les baisses de vigilances, les douleurs musculaires, tendineuses, ligamentaires...

A partir de 4% de perte du poids de corps, la déshydratation devient une menace vitale engageant des troubles cardiovasculaires et un défaut de thermorégulation (pouvant aboutir à des collapsus ou à une hyperthermie liés à l'effort, ce qu'on appelle le "**coup de**

²⁷ C. Petit et H. Neiger, Hydratation et diététique des sportifs de haut niveau, Annales Kinésithérapie, 1979, 6, 61-66

chaleur"). Il convient alors de prévenir toute déshydratation chez le sportif en élaborant un protocole hydrique avec une solution d'hydratation adaptée à la pratique sportive correspondante.

3.2. PROTOCOLE D'HYDRATATION

Afin d'éviter ces risques de déshydratation, il faudra s'hydrater avant, pendant et après l'effort en élaborant des plans hydriques. Pendant et après chaque entraînement, il faudra boire entre 150 et 250ml par prise, à répéter aussi souvent que possible. Il faut également intégrer l'eau pendant toute la journée :

- 2 grands verres au réveil,
- un demi-litre d'eau dans la matinée et idem l'après midi,
- de l'eau à chaque repas,
- avoir une bouteille d'eau dans la chambre pour « répondre à la soif »,
- manger des légumes et des fruits frais....

Une technique simple pour s'assurer de sa bonne hydratation est de **regarder la couleur de son urine**. Une urine colorée en foncée est signe d'une mauvaise hydratation (figure 13).

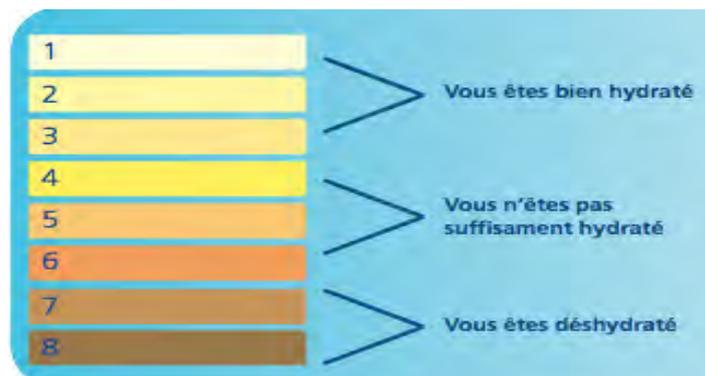


Figure 13 : Évaluer l'hydratation en fonction de la couleur des urines²⁸

L'hydratation aura une influence sur la performance physique, c'est ce que mettait en évidence le colloque international de physiologie du sport²⁷. Précédemment, nous avons vu que lors d'une action intense et de longue durée, le taux de glucose sanguin subit une chute rapide pendant les 15 premières minutes. Il faut donc associer à l'eau une administration de sucre afin de favoriser la capacité de travail (figure 14).

²⁸ <https://www.quebecechantillonsgratuits.com/articles/ce-que-revele-la-couleur-de-votre-urine>

A 70% de la VO ₂ Max	Sans hydratation	Avec 225 ml d'eau toutes les 15 mn.	Avec 225ml d'eau + glucose à 5% toutes les 15 mn.
Durée de l'effort jusqu'à épuisement	149 mn	171 mn	180 mn
Rythme cardiaque en % du maximum	89%	83%	81%

Figure 14 : Influence de l'hydratation sur la durée de l'effort²⁷

Dans cette étude, nous observons le temps de travail jusqu'à épuisement pour un effort correspondant à 70% de la VO₂ max (la VO₂ max est la consommation maximale d'oxygène que le corps consomme lors d'un effort intense par unité de temps, habituellement exprimée en litre d'oxygène par minute). Ainsi, sans hydratation, la durée de l'effort jusqu'à épuisement est de 149 minutes. La durée de l'effort jusqu'à épuisement est augmentée avec un apport de 225 ml d'eau toutes les 15 minutes (apport conseillé), affichant une valeur de 171 minutes. Cette durée est encore plus augmentée à 180 minutes avec l'apport de 225 ml d'eau glucosé à 5% toutes les 15 minutes.

Le problème de l'administration des liquides durant l'effort est la vitesse à laquelle ils quittent l'estomac. Cette **vitesse d'évacuation gastrique** est liée à différents facteurs²⁷ :

- La **concentration en glucose** des solutions : pour une solution à 2,5% de glucose, l'estomac se vide complètement en 20 minutes. Cependant, si la concentration de la solution est de 10% de glucose, l'estomac se videra en 60 minutes.
- La **température des liquides ingérés** : c'est aux températures relativement basses (12-14°C) que la vidange gastrique est la plus rapide.
- **L'intensité de l'exercice** : lorsque l'intensité de travail dépasse 60% de la VO₂ max, la rapidité d'évacuation de l'estomac diminue. En effet, lors de ces efforts intenses le sang est moins disponible pour le fonctionnement de la digestion.
- **La concentration en sodium** : les mouvements d'eau se font en parallèle des mouvements de sodium. Plus une eau sera riche en sodium plus elle sera absorbée.

Nous aurons ainsi un protocole d'hydratation adapté à la pratique sportive :

- Il ne faut rien boire ou manger qui apporte de fortes quantités de sucre moins de 2 à 3 heures avant la pratique physique.
- Environ 20 à 25 minutes avant le début de l'effort il faut boire 200 à 400 ml d'une solution glucosée dont la concentration est identique à celle qui sera utilisée pendant l'effort (autour des 5%).
- La température du liquide doit se situer vers 12-14°C.
- Pendant l'effort il faut boire toutes les 15 à 20 minutes 200 ml d'une eau glucosée à 5%.
- Après l'effort, il est nécessaire de boire à satiété le même liquide que celui ingéré pendant l'effort, à la fois pour compenser les pertes en liquide et reconstituer le stock de glycogène.

Ce protocole est valable pour les efforts supérieurs à 1h30, il est important de rappeler que pour un effort continu inférieur à 1h30 l'eau seule est l'unique boisson indispensable, il faudra là aussi en ingérer 200ml toutes les 15 à 20 minutes.

Au-delà de 1h30 d'effort continue, il faudra adapter la boisson selon le protocole vu précédemment. On utilisera alors une boisson iso/hypotonique (pour éviter les troubles intestinaux) avec un mélange de glucose (50% à 75% des sucres) et de fructose (50% à 25% des sucres).

En cas d'efforts intenses sous une température élevée, il faudra également incorporer du sel, avec un apport en NaCl correspondant à 1,2g par litre de boisson (pour les gros efforts supérieurs à 3h, nous pouvons également intégrer le sel de potassium à une hauteur de 0,4g par litre de boisson).

Pour assurer une bonne récupération, il est nécessaire de refaire son stock de glycogène. Ce stockage nécessite de l'eau, en effet, pour 1g de glucose stocké sous forme de glycogène il faut 2,7g d'eau. Cela nous démontre une fois de plus l'intérêt d'une bonne hydratation et l'interaction entre les différents métabolismes.

4. CONCLUSION SUR LES BASES DE NUTRITION DU SPORTIF

L'organisme va donc, *via* le métabolisme cellulaire, dégrader les différents substrats énergétiques (glucides, lipides, protéines) apportés par l'alimentation. Après digestion des aliments, les différents substrats seront déversés dans la circulation sanguine et constitueront une part d'énergie directement disponible ou bien mise en réserve.

Les glucides, utilisés sous forme de glucose :

- Soit libres dans le sang, formant ainsi le pool de glucose, qui pourra être directement utilisé par les cellules (suite à la digestion ou après la glycogénolyse du foie et des muscles).
- Soit stockés dans le foie ou les muscles sous forme de glycogène via la glycogénogenèse.
- Soit, en cas de surplus, transformés et stockés sous forme de graisses dans le tissu adipeux.

Les lipides utilisés sous forme d'acides gras :

- Soit libres dans le sang, formant ainsi le pool d'acides gras libres, qui pourront être directement utilisés par les cellules (suite à la digestion ou après lipolyse du tissu adipeux).
- Soit stockés dans les tissus adipeux pour former une réserve d'énergie via la lipogenèse.

Les protéines utilisées sous forme d'acides aminés :

- Soit libres dans le sang, formant ainsi le pool d'acides aminés, qui pourront être directement utilisés par les cellules (suite à la digestion ou après la protéolyse des protéines musculaires).
- Soit servant à la régénération des protéines musculaires et à leur épaissement via la protéosynthèse
- Soit, en cas d'excédent, transformées et stockées sous forme de graisses dans le tissu adipeux.

Le métabolisme est constitué de deux mécanismes opposés : **l'anabolisme** (construction et renouvellement du tissu cellulaire) et **le catabolisme** (dégradation des composés cellulaires pour produire de l'énergie). Pour maintenir un état stable de l'organisme, il va donc falloir équilibrer les résultats entre l'anabolisme et le catabolisme par contrôle des apports alimentaires.

Pendant l'activité physique l'organisme va donc se servir de **l'énergie apportée par les pools sanguins de glucose, lipides et d'acides aminés**. Même après l'effort, pendant la récupération, l'organisme continuera d'utiliser ces substrats. En cas de déficit en ces nutriments (faible pool ou prolongement de l'activité) l'organisme va puiser dans ses réserves :

- Les réserves de glucose (glycogène) présentes dans le foie et les muscles, par utilisation de la glycogénolyse.
- Les réserves d'acides gras présentes dans le tissu adipeux, par l'utilisation de la lipolyse.
- Les réserves d'acides aminés présentes dans les muscles, par l'utilisation de la protéolyse.

En cas d'épuisement des réserves en glucose, et sans apport alimentaire, l'organisme doit en produire par lui même et ainsi en fournir à tous les organes notamment les glucodépendants. Ainsi, l'organisme va utiliser la **néoglucogénèse** pour produire du glucose à partir de substrats non glucidiques. Il y aura alors synthèse de glucose dans le foie à partir des réserves du glycérol du tissu adipeux ou encore à partir des acides aminés venant des protéines musculaires.

Nous avons également pu voir que d'autres nutriments sont essentiels au fonctionnement optimal du corps humain : **les minéraux et les vitamines**. Ils sont appelés **micronutriments** mais ils ont une grande importance pour l'organisme.

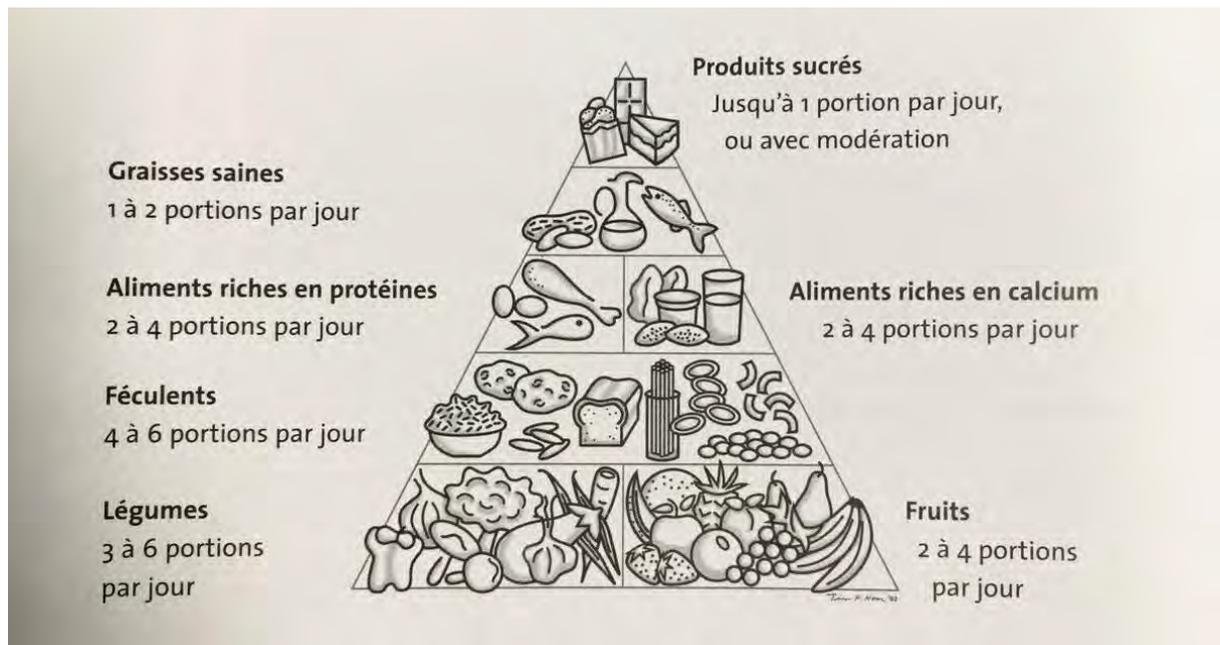
Les minéraux sont des particules non organiques qui ont de nombreux rôles régulateurs ou structuraux au sein du corps humain. Ils sont indispensables au bon fonctionnement de l'organisme. Il existe alors des macro-éléments et des oligo-éléments. Ces minéraux sont des constituants cellulaires majeurs qui règlent la perméabilité des membranes (Na^+ , K^+), l'excitabilité neuromusculaire (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), la pression osmotique (Na^+ , K^+), entrent dans la composition des os (Ca^{2+} , P, Mg^{2+}), interviennent dans de nombreux processus enzymatiques (Cu, Se, Cr, Zn, P)... Les besoins varient selon l'âge, le sexe, le poids, les activités physiques. **Les Apports Journaliers Recommandés (AJR)**

représentent une moyenne, ils ne prennent pas en compte les besoins spécifiques des athlètes. La pratique sportive accroît les besoins en certains minéraux sans pour autant pouvoir quantifier les besoins réels de la plupart des sportifs. Ainsi, une alimentation équilibrée associée à un apport énergétique suffisant constituent les moyens les plus efficaces de couvrir ces besoins.

Les vitamines sont également nécessaires au fonctionnement optimal du corps humain. La plupart constitue la majeure partie des systèmes enzymatiques utilisés dans la production d'énergie, lors d'exercices physiques notamment où elles auront des rôles catalytiques. Elles sont également indispensables au fonctionnement des systèmes immunitaire, hormonal, digestif, nerveux. Elles participent à la croissance et l'entretien de l'organisme. L'organisme ne peut les synthétiser, **leur apport doit donc être assuré par l'alimentation.** Leurs carences peuvent provoquer des pathologies graves voire mortelles. Les besoins varient, comme pour les minéraux, selon l'âge, le sexe, le poids, les activités physiques. **Comme pour les minéraux, les AJR représentent une moyenne, ils ne prennent pas en compte les besoins spécifiques des athlètes.** La pratique sportive accroît là aussi le besoin de l'organisme en ces vitamines, sans pour autant pouvoir réellement quantifier les besoins de chaque individu. Une alimentation équilibrée et variée est là aussi le moyen le plus efficace de couvrir les besoins.

Le dernier élément essentiel à l'organisme et à la pratique sportive est **l'eau**. C'est le composant le plus important de l'organisme. Il est très important pour le sportif d'avoir une bonne hydratation avant, pendant et après l'effort afin de répondre à tous les besoins de son organisme, éviter la fatigue, les dommages, les blessures et favoriser la récupération. C'est l'élément central de tous les nutriments observés. L'eau va permettre leurs transports, leurs échanges, les interactions entre eux, l'évacuation de leurs déchets métaboliques. Ainsi, la déshydratation sera néfaste pour l'individu, diminuant ses capacités physiques, diminuant sa récupération post effort, et à terme, pouvant engager son pronostic vital. **L'hydratation doit donc se faire quotidiennement et régulièrement, à fortiori en vu d'une épreuve sportive où un plan hydrique adapté à l'activité devra être instauré.** La couleur de l'urine pourra servir de bon indicateur quant au niveau d'hydratation de l'organisme.

Nous avons vu que l'ensemble de ces nutriments doivent être apportés en quantité suffisante par l'alimentation. Les besoins énergétiques et nutritifs d'un sportif ne sont pas les mêmes que ceux d'un individu plus sédentaire. Nous aurons donc une pyramide alimentaire conçue pour la pratique sportive en général (*Figure 15*).



Ce programme alimentaire met l'accent sur les fruits et légumes en les plaçant à la base de la pyramide, ils doivent ainsi constituer la base de l'alimentation du sportif. Chaque groupe d'aliments (ou presque) va procurer les nutriments nécessaires à la bonne pratique sportive, l'important est alors de manger des aliments de chaque groupes en respectant au mieux les portions quotidiennes indiquées et en variant au maximum les aliments.

- **Fruits et légumes** : ils sont riches en vitamines, minéraux, fibres et phytonutriments (antioxydants puissants) indispensables pour être en bonne santé. Ils contribuent à lutter contre les maladies cardiovasculaires, intestinales, les cancers et permettent de booster l'immunité. *Pour les fruits 1 portion va correspondre à 1 fruit de taille moyenne, 2 petits fruits, 1 poignée de fruits en grappe ou encore 1 grande tranche d'un gros fruit (melon, pastèque). Pour les légumes 1 portion correspond à la quantité tenant dans une main ouverte.*

- **Féculents** : Il s'agit d'un groupe d'aliments riche en glucides complexes (pain, riz, pâtes, céréales, lentilles, pomme de terre). La pratique d'une activité physique régulière justifie le maintien d'un taux de glycogène élevé et donc la consommation quotidienne de ces aliments (un faible taux de glycogène va provoquer des épuisements et donc une baisse des performances). Les féculents sont également des sources de fibres, de vitamines B, de minéraux. Il faudra préférer les versions complexes de ces aliments par rapport à leur version "blanche" (pains complets ou multi céréales plutôt que les pains blancs, pâtes ou riz complet plutôt que les pâtes ou riz classiques) qui vont être moins riches en minéraux, vitamines et fibres (les fibres permettant d'étaler la charge glycémique vue précédemment). *1 portion va correspondre à 1 main ouverte de pâtes, riz, légumes sec, 1 grosse pomme de terre au four ou encore 2 tranches de pain.*

- **Aliments riches en calcium** : ce sont les produits laitiers, les amandes, les légumes secs, les figes. Ils vont apporter, en plus du calcium nécessaire à la structure osseuse, des protéines et vitamines B. *1 portion va correspondre à 1 tasse de lait, 1 pot de yaourt, 1 poigné fermée d'amandes, 2 figes.*

- **Aliments riches en protéines** : l'exercice régulier et intense va justifier la surconsommation de protéines chez les sportifs par rapport à une personne plus inactive, à *fortiori* s'il s'agit d'une activité de force, de puissance ou de musculation. L'apport adéquat de protéines va permettre de récupérer après l'entraînement, gagner en force et en muscle de manière plus rapide. Ces aliments vont également être la source de vitamines B, de fer, de zinc. Pour les végétariens, il faudra incorporer des légumes secs, des lentilles, des produits laitiers pour remplacer ces aliments. *1 portion va correspondre à 1 paume de main de viande, volaille, poisson, 1 main pleine de légumes secs, 2 œufs ou encore 3 à 4 petits suisses 0% de matières grasses.*

- **Graisses saines** : nous visons les aliments contenant des acides gras essentiels (oméga 3 et 6) qui permettent d'améliorer l'endurance et éviter les maladies cardio-vasculaires. Il va s'agir des huiles de noix, de colza, d'olive, de tournesol, les poissons gras, les graines de lin. Les huiles sont à ajouter directement dans les préparations (la cuisson diminuant la valeur nutritionnelle). *1 portion va correspondre à 1 paume de main de poisson gras 2 fois par semaine, 1 cuillère à soupe d'huile de colza, de noix, d'olive.*

- **Produits sucrés** : nous aurons ici des produits avec beaucoup de calories pour une qualité en nutriment faible (biscuits, gâteaux, sodas). Ces produits sont souvent chargés d'acides gras saturés qui bouchent les artères et de graisses hydrogénées. Ces produits sucrés sont à consommer avec modération (occasionnellement) car ils vont provoquer des fluctuations de la sécrétion d'insuline pouvant affecter l'entraînement et la récupération après effort.

Nous avons donc identifié les besoins d'un sportif, celui-ci pouvant les trouver dans une alimentation équilibrée et variée. Ces apports par l'alimentation sont à adapter au type de pratique sportive, l'intensité et la durée de celle-ci.

Cependant lors de certaines périodes d'entraînements, de compétitions intenses ou encore de sports particuliers, l'organisme aura besoin d'un apport en certains nutriments spécifique à ces phases ou à ces sports. L'apport supplémentaire de ces nutriments par l'alimentation risquerait de créer un excédent de nutriments non désirés. Exemple par la supplémentation de protéines voulant être obtenue par l'apport de viande, apportant en parallèle un apport en graisses. Ainsi, le sportif pourra incorporer des compléments à l'alimentation afin de répondre à une période particulière (demande importante d'énergie de la part de l'organisme face à l'épreuve sportive, phase de récupération voulant être accélérée, récupérer les minéraux perdus après une épreuve intense...). Le sportif pourra alors s'orienter vers la consommation de compléments alimentaires.

Dans la partie suivante nous détaillerons alors les différents compléments alimentaires, de quoi sont ils composés, quelles en sont les quantités utiles pour le sportif, les éventuels risques. Nous verrons également que le sportif, voulant faciliter sa préparation physique ou améliorer ses performances, pourra avoir recourt à l'utilisation des produits dopants.

**PARTIE III
DES AJOUTS
NUTRITIONNELS
AUX PRODUITS
DOPANTS**

Dans la partie précédente, nous nous sommes intéressés aux macronutriments, aux micronutriments et à l'eau. Cette partie *supra* a permis d'identifier les besoins nutritionnels d'un sportif. Nous avons constaté que le sportif, *via* une alimentation équilibrée et variée, pouvait trouver tous ces nutriments dans son alimentation.

Cependant, lors de certaines périodes d'entraînements, de compétitions intenses ou encore de sports particuliers, l'organisme aura besoin d'un apport en certains nutriments spécifiques à ces phases ou à ces sports. Le sportif désirera alors cibler ses apports alimentaires sur *tel ou tel* nutriment en particulier. Le problème qui se pose alors est de trouver des quantités utiles en certains nutriments, sans être « pollué » par des apports d'autres nutriments non souhaités présents dans ces aliments.

Ainsi, le sportif pourra s'intéresser aux compléments alimentaires. Ces produits vont permettre d'apporter un (ou plusieurs) nutriment(s) souhaité(s), en quantité efficace.

Nous allons alors nous intéresser, dans cette partie, aux besoins nutritifs correspondants aux différentes phases d'activités d'un sportif (phase d'entraînement, de compétition, de repos...). Cela permettra de comprendre l'intérêt d'une supplémentation.

Nous verrons alors les différents compléments alimentaires existants, leurs quantités utiles, leurs indications et leurs éventuels risques sur l'organisme.

Enfin, nous nous intéresserons aux produits dopants. Le sportif voulant, par nature, repousser ses limites et être de plus en plus performant, pourrait être tenté par l'utilisation de ces produits. Nous verrons alors les différentes classes de produits, leurs risques et leurs intérêts dans la pratique sportive.

1. LES COMPLÉMENTS ALIMENTAIRES : JUSTIFICATION ET PRÉSENTATION

Nous avons pu constater, avec la partie précédente, que les différents substrats énergétiques, les vitamines, les minéraux sont à la base de notre alimentation. Nous allons voir dans cette partie ce qui peut être ajouté, en complément de l'alimentation pour répondre aux besoins d'un sportif. Nous verrons alors dans un premier temps pourquoi le sportif aurait besoin de compléments alimentaires et à quels moments. Puis, nous verrons les différents compléments alimentaires connus, ce qu'ils contiennent, quels en sont les intérêts et les éventuels risques à les consommer ou à s'en priver.

1.1. LES BESOINS NUTRITIFS LORS DES DIFFÉRENTES PHASES D'ACTIVITÉS D'UN SPORTIF

Pour le sportif, ces apports de base sont à remettre en question, le plus souvent par une augmentation, la faute bien entendu à la sur-demande d'énergie et à la sur-utilisation des parties de l'organisme (tissus, système cardio-vasculaire, organes...).

Cette élévation des apports en substrats énergétiques ou en autres composants n'est pas toujours identique. Un sportif, et à *fortiori* un compétiteur, va organiser ses phases d'activités en trois moments principaux :

- La **phase d'entraînement** où le sportif va se "préparer à", l'objectif sera de rentabiliser les séances afin d'être le plus productif et de s'améliorer.
- La **phase de compétition** où le sportif se donnera à 100% pour son challenge, l'ensemble de son corps devra alors être à son maximum pour être au service de cette cause.
- La **phase de récupération**, elle suit les entraînements ou les compétitions et devra être la plus qualitative possible afin de permettre au sportif de solliciter son corps pour recommencer les entraînements et les compétitions le plus rapidement et efficacement possible.

Ces différentes phases vont donc se suivre logiquement. Entraînement, repos, entraînement, repos, compétition, repos, entraînement... le moment initial est donc plutôt une phase de repos (de pré entraînement). Nous allons alors suivre les besoins nutritifs d'un sportif autour d'un entraînement.

1.1.1. Avant l'entraînement

Le but de cette phase est d'apporter tous les éléments nutritifs nécessaires à la réalisation de l'entraînement et l'optimisation de celui-ci. L'entraînement n'est pas seulement une phase d'effort physique, il peut y avoir des entraînements où les aspects de technique et de concentration vont être sollicités. De ce fait, il ne faudra négliger aucune piste, respecter un bon sommeil, choisir les bons aliments, les bonnes quantités et qualités, une bonne hydratation...

Ce que l'on mange la veille des efforts et 7h avant détermine l'énergie apportée que nous allons utiliser et ainsi, détermine les performances associées. Rappelons nous que l'apport de glucides va permettre de remplir le stock de glycogène (si important à notre organisme et en particulier nos muscles lors d'un effort). Pour ces glucides, il faut avoir en tête une consommation de 5 à 10 g par kg de poids corporel et par jour. Cette différence d'apport se justifie en fonction du niveau d'activité :

- 4 à 5g de glucides par kg par jour pour un niveau d'activité de 3 à 5 heures par semaine.
- 5 à 6g de glucides par kg par jour pour un niveau d'activité de 5 à 7 heures par semaine.
- 6 à 7g de glucides par kg par jour pour un niveau d'activité de 1 à 2 heures par jour.
- 7 à 8g de glucides par kg par jour pour un niveau d'activité de 2 à 4 heures par jour.
- 8 à 10g de glucides par kg par jour pour un niveau d'activité de plus de 4 heures par jour.

Pour être sûr de remplir ces exigences glucidiques il faut avoir en tête la teneur en glucides des différents aliments que nous pouvons rencontrer (*partie II, sous-partie 1.1.*).

Le risque de ne pas consommer assez de glucides pour le sportif est celui d'une **baisse de forme ressentie lors de l'effort**, sensation de fatigue, d'épuisement qui arrive trop rapidement et ceci impactant sur les performances. Cependant, il est important de **ne pas surconsommer** des glucides, l'individu risquant alors des sensations désagréables type lourdeur, engourdissement et fatigue. En effet, l'organisme, face à la montée de glycémie, secrètera de l'insuline pour se mettre en phase de digestion et de stockage du surplus des glucides nécessaires.

Nous avons parlé de la consommation de glucides la veille ou 7h avant l'effort afin de stocker ces sucres sous forme de glycogène et donc d'énergie utilisable pour les muscles. Manger juste avant l'effort n'a donc aucun impact sur ce glycogène, cependant, cela permettra **d'élever la glycémie** et donc d'apporter des sucres utilisables rapidement par l'organisme en laissant un sursis aux sucres stockés sous forme de glycogène. Ceci est bien sûr intéressant pour les sports d'endurance. **Il faudra alors manger 3h avant l'effort** afin de laisser le temps à la digestion et de ne pas se sentir trop lourd.

Les meilleurs aliments à consommer juste avant l'entraînement sont ceux avec un **index glycémique faible**, afin de brosser la charge glycémique et donc tenir plus longtemps l'effort, et tenir plus longtemps avant de trop consommer les réserves de glycogène (*partie II, sous-partie 1.1.*).

Nous avons également constaté que **l'hydratation était primordiale**, même avant les efforts, celle-ci permettant de répondre rapidement aux dépenses énergétiques et aux besoins en nutriments. Cette hydratation va également permettre d'apporter les **minéraux essentiels** à la pratique sportive (*partie II, sous-partie 2.1.*).

1.1.2. Pendant l'entraînement

L'alimentation pendant l'entraînement va dépendre bien entendu du type d'entraînement (simple remise en forme, recherche de performance...), de la durée et du type de sport. Pour la plupart des **activités durant moins d'une heure, une simple hydratation** avec de l'eau est suffisante.

Pour des **activités intenses ou qui durent dans le temps, la simple réhydratation ne sera pas suffisante**. Il faudra intégrer des glucides pour compenser la perte excessive due à l'effort afin de ne pas impacter sur les performances ou la durée du travail. Surtout sur la fin des épreuves d'effort où les réserves en glycogène diminuent rapidement. Les muscles ne peuvent puiser plus de 60g de glucose par heure dans le sang, par conséquent, il est **recommandé d'apporter entre 30 et 60g de glucides par heure d'exercice**. Afin d'optimiser l'apport de ces sucres aux muscles, toujours pour un temps d'effort supérieure à 1h, il est recommandé de ne pas attendre cette heure et le début de la déplétion en glycogène. En effet les glucides ingérés vont mettre environ 30min à atteindre les muscles, donc cet apport devra se faire autour des 30min d'effort. **Ainsi, il faudra consommer entre 15 et 30g de glucides toutes les 30min.**

Pendant cette phase d'exercice, il faudra alors se tourner vers des aliments à index glycémique élevé (*partie II, sous-partie 1.1.*). Ces glucides sont à combustion rapide et permettront de mettre à disposition de l'énergie rapidement. *Cela peut être des fruits (ananas, raisins secs) ou même des barres de céréales ou des biscuits.*

Cependant, attention à **ne pas apporter plus de 5g de lipides par portions**, ces nutriments auraient pour conséquence de ralentir la vidange gastrique et donc de diminuer l'index glycémique. Ils pourraient causer également des désordres digestifs et des sensations de lourdeurs.

L'apport d'acides aminés branchés (BCAA) durant un effort est aussi à prendre en compte, ceux-ci permettant de garder un pool d'acides aminés sanguin assez élevé pour éviter un catabolisme protéique et l'utilisation trop rapide du glycogène.

Les vitamines et minéraux sont aussi à intégrer dans les prises d'aliments ou de boissons durant l'effort. Les vitamines vont permettre le bon déroulement des processus énergétiques, et leurs rôles antioxydant vont capter les radicaux libres dégagés lors de l'activité dont l'accumulation est délétère aux tissus de l'organisme, notamment aux muscles. L'apport de minéraux permet de remplacer les pertes lors des processus métaboliques et lors de la perte de ceux-ci notamment par la transpiration.

L'hydratation est encore une fois primordiale, selon le protocole d'hydratation vu dans la *partie II (sous-partie 3.2.)*. La sous-hydratation s'accompagne d'un déséquilibre thermique, ce qui perturbe l'activité enzymatique, et donc la vitesse de dégradation des substrats en énergie. Un manque d'eau limitera le transport des vitamines et des minéraux pourtant essentiel à l'action contractile du muscle, ce qui pourra engendrer des crampes. Par ailleurs, une carence hydrique intramusculaire limitera aussi l'activité contractile, car l'hydrolyse de l'ATP lors de la jonction actine/myosine sera limitée.

1.1.3. Après l'entraînement

Nous avons vu que pendant les phases d'entraînements, le corps doit répondre à divers besoins énergétique et physiologique. Ainsi, il y a eu une **surconsommation** de glucides, d'eau et d'électrolytes, une mobilisation des graisses et une **surcharge de travail** musculaire régulée par les protéines.

Il sera alors important de **recharger son corps** par les aliments adaptés afin de récupérer plus rapidement son énergie et ainsi, pouvoir s'entraîner de nouveau avec la même qualité.

Il s'agira tout d'abord et immédiatement après la séance de **remplacer l'eau perdue**, afin d'éviter la déshydratation et les malaises. Il est donc recommandé de boire 750ml d'eau pour 500g de poids corporel perdu (se peser avant/après la séance et noter la différence de poids) et cela en petite quantité et régulièrement.

Il faudra aussi **apporter les électrolytes perdus**, notamment pour les efforts de plus d'une heure et sous une forte chaleur. Ainsi, comme vu dans la partie hydratation (*partie II, sous-partie 3.*), nous pouvons apporter 1,2g de NaCl par litre d'eau et 0,4g de potassium par litre d'eau pour ces efforts intenses, longs et sous conditions climatique étouffante. Ces électrolytes sont retrouvés dans les boissons pour sportifs (*cf infra*). L'alimentation équilibrée va permettre également de recharger l'organisme en électrolytes.

Les glucides perdus, sont à remplacer pour recharger **le stock en glycogène** de l'organisme afin de pouvoir s'entraîner à nouveau, plus rapidement. Ces glucides vont se transformer 1,5 fois plus rapidement en glycogène que la normale dans les 2h suivant l'effort¹⁴. Donc, dès que possible après l'entraînement (dans l'heure qui suit), il faudra apporter une boisson de réhydratation riche en glucides ou apporter une collation riche.

Il faut également apporter **des protéines**. Associer glucides et protéines va permettre de recharger le glycogène plus rapidement que les glucides seuls. Cela va permettre de favoriser la récupération musculaire des tissus lésés durant la séance, et favoriser le développement musculaire. En effet, la combinaison glucides-protéines va stimuler la libération de l'insuline qui est une hormone anabolisante permettant de réduire le temps de récupération post entraînement. L'en-cas idéal après exercice doit contenir une proportion de trois glucides pour une protéine (3g pour 1g ; 6 pour 2...).

L'entraînement intense aura aussi pour conséquence de léser les muscles (marqués par les courbatures provoquant des douleurs pouvant durer plusieurs jours), ceci est du entre autre à une accumulation de radicaux libres qui sont les toxines de l'effort. Ceux-ci vont endommager les membranes cellulaires, provoquant des cytolyses, et rendre les muscles douloureux. Il faudra alors consommer quelques aliments riches en **nutriments antioxydants** (fruits, légumes) ou consommer des **boissons de récupération** pour sportifs où ces nutriments seront retrouvés.

Encore une fois, l'importance de l'hydratation se retrouve ici dans le but d'éliminer les toxines de l'effort, de recharger l'organisme en minéraux, de jouer son rôle de substrat dans les processus de récupération auprès des différents macronutriments. Un muscle insuffisamment hydraté sous-optimisera le phénomène surcompensatoire, car la glycogénogénèse et les processus anabolisants sont très gourmands en molécules hydriques. Après l'effort, il est alors nécessaire de compenser les pertes (*partie II, sous-partie 3.1.*) par l'apport de boissons qui contiennent les éléments perdus, ou par la mise en place de collation après ou entre les entraînements avec des aliments riches en ces vitamines et minéraux (des fruits secs, des amandes, des noix de cajoux...). De même, une source de **bicarbonate** permet de récupérer plus facilement en permettant un retour à un équilibre

acido-basique. Il faudra donc apporter du calcium, magnésium, potassium, bicarbonates, potassium par des boissons riches en minéraux (Hépar®, Saint-Yorre®, Vichy®...) ou par des aliments riches en ces minéraux (fruits secs, amandes...). Pour la perte en sodium importante (sueur), et si l'eau n'en est pas riche, rajouter une pincée de sel dans 1L d'eau.

Après avoir vu les différents besoins du sportif face à ses différentes phases d'activités, nous pouvons comprendre l'intérêt d'une supplémentation de l'alimentation.

Dans la partie suivante, nous allons présenter les différents compléments alimentaires existants.

1.2. LES COMPLÉMENTS ALIMENTAIRES

Malgré la bonne connaissance du corps humain et les différentes phases de celui-ci pendant l'activité physique, certains sportifs souhaitent se tourner vers les compléments alimentaires afin de pouvoir compléter, supplémenter l'alimentation et ses apports nutritifs. Nous allons donc voir, dans cette partie, les différents compléments alimentaires disponibles pour le sportif, leurs compositions, leurs rôles et leurs éventuels risques. De plus, nous verrons les limites des supplémentations du corps en apports exogènes par le franchissement des limites autorisées, les apports de produits dopants.

Selon l'Agence Nationale de Sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'Environnement et du travail (ANSES), le concept de **complément alimentaire** a été défini par le décret n°2006-3524 du 20 mars 2006²⁹ comme : « *On entend par compléments alimentaires les denrées alimentaires dont le but est de compléter le régime alimentaire normal et qui constituent une source concentrée de nutriments ou d'autres substances ayant un effet nutritionnel ou physiologique seuls ou combinés* ». La législation précise également qu'ils sont « *commercialisés sous forme de doses, à savoir les formes de présentation telles que les gélules, les pastilles, les comprimés, les pilules et autres formes similaires, ainsi que les sachets de poudre, les ampoules de liquide, les flacons munis d'un compte-gouttes et les autres formes analogues de préparations liquides ou en poudre destinées à être prises en unités mesurées de faible quantité* ».

Cependant, contrairement aux médicaments, la commercialisation des compléments alimentaires ne nécessite pas d'autorisation individuelle de mise sur le marché fondée sur l'évaluation par une instance d'expertise d'un dossier soumis par l'industriel souhaitant les commercialiser. L'industriel est donc responsable de la conformité des compléments alimentaires mis sur le marché avec les dispositions réglementaires en vigueur, tant en matière de sécurité que d'information du consommateur. Ces compléments alimentaires font l'objet de déclarations auprès de la Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes (DGCCRF) qui examine leur composition et réalise des contrôles.

²⁹ <https://www.anses.fr/fr/content/que-sont-les-compl%C3%A9ments-alimentaires>

Par ailleurs, les **allégations nutritionnelles et de santé**, susceptibles d'être indiquées sur les produits, sont strictement encadrées par la réglementation européenne. Á ce jour, un nombre limité d'allégations santé est autorisé, la liste peut être consultée sur le site de la Commission Européenne³⁰. L'objectif est de mettre fin aux appellations douteuses et vagues du genre « *effet explosif* » ; « *produit miracle* ».

Ces allégations présentent alors deux possibilités :

- **Allégations sur les actifs** (vitamines, minéraux, antioxydants...) : *tel ingrédient contribue à tel avantage*. Par exemple, la vitamine C contribue à réduire la fatigue à condition qu'elle soit présente à plus de 15% des Apports Journaliers Recommandés (AJR). Globalement, pour déceler un produit sous-dosé en un actif, il suffit de lire dans le descriptif si il y a mention de cet actif sans mettre de phrase du type « contribue à *tel avantage* », s'il n'y a pas cette phrase il faut en déduire qu'il n'y en pas suffisamment au regard des AJR.

- **Allégation sur le produit fini** : tel complément alimentaire est bénéfique pour une situation donnée.

Par définition, un complément alimentaire ne peut avoir, ni revendiquer d'effet thérapeutique.

Aucun des produits utilisés dans les compléments alimentaires sur le marché et étant commercialisé sous l'étiquette norme AFNOR V 94-001³¹ n'est surveillé par l'Agence Mondiale Antidopage, excepté la caféine, qui a été inscrite sur la liste des substances à surveiller.

1.2.1. Les boissons d'hydratation

Nous avons vu que les pertes hydriques dues à l'effort sont liées majoritairement à la sudation et ne sont pas à négliger. Il va y avoir en parallèle une perte de minéraux (sodium, potassium, calcium...) indispensables aussi au bon fonctionnement de l'organisme sollicité par l'effort physique.

Avant l'effort l'eau plate, naturellement composée de minéraux, suffit.

Pendant l'effort, le type de boisson choisi va dépendre des caractéristiques de l'activité (*Tableau XXXIII*).

³⁰ http://ec.europa.eu/food/safety/labelling_nutrition/claims/register/public/?event=register.home

³¹ <https://normalisation.afnor.org/actualites/prevention-du-dopage-et-alimentation-une-norme-afnor-pour-apporter-de-la-confiance-aux-sportifs>

Type d'effort	Boisson à utiliser
Effort < 1h-1h30	Eau plate
1h-1h30 > Effort < 3h à 20°C	20g de glucides par litre d'eau 1,2g de NaCl par litre d'eau Boisson hypotonique
1h-1h30 > Efforts < 3h à 20°C	60g de glucides par litre d'eau 1,2g de NaCl par litre d'eau Boisson isotonique
Effort >3h à température élevée	20g de glucides par litre d'eau 1,2g de NaCl par litre d'eau 0,4g de potassium par litre d'eau

Tableau XXXIII : Récapitulatif des boissons à utiliser en fonction de l'effort

Il existe sur le marché des boissons adaptées à l'activité physique et adaptées au type d'effort :

- **Les boissons hypotoniques** : Elles contiennent 2 à 4g de glucides pour 100ml (20g à 40g par litre). Elles vont permettre d'étancher la soif, et seront plus rapidement assimilées que l'eau plate grâce à leur composition qui leur donne une faible pression osmotique. Elles sont donc conseillées pour les efforts faibles et courts (*Tableau XXXIII*).

- **Les boissons isotoniques** : Elles contiennent 4 à 8 grammes de glucides pour 100ml (40g à 80g par litre). Elles vont permettre d'étancher la soif, mais également d'apporter de l'énergie par le glucose présent. Leur rapidité d'absorption est la même que pour l'eau plate. L'objectif est d'avoir une absorption plus étalée dans le temps que les boissons hypotoniques, afin d'apporter du glucose plus durablement. Ces boissons sont donc indiquées pour les sports d'endurance (*Tableau XXXIII*).

- **Les boissons hypertoniques** : Elles contiennent au moins 8 grammes de glucides pour 100 ml (80g par litre). Ces boissons ont donc une osmolarité plus forte que le plasma, elles sont donc assimilées plus rapidement que l'eau. Elles sont ainsi indiquées 30 minutes à 60 minutes avant une séance, ou juste après une séance. Leur objectif est de prévenir la déshydratation et les pertes en eau. Cependant, la solution étant plus concentrée que le sang, l'organisme devra provoquer un appel d'eau vers l'estomac pour diluer la solution et la rendre isotonique et assimilable. Cela retarde alors l'hydratation et peut provoquer de l'inconfort digestif, voir même une hypoglycémie réactionnelle.

Attention cependant à ne pas se fier à certaines **boissons énergisantes** dites « *boostante* » (Red Bull®, Monster®, Burn®...). Ces boissons, par leur composition, vont plutôt nuire à la performance et à la récupération.

- L'apport de glucides est bien trop élevé (plus de 100g par litre), ainsi cette boisson est hypertonique et on retrouve les problèmes cités plus haut majorés. (*par exemple, dans une boisson de la marque Red Bull® il y a 11,3g/100ml de boisson*).

- Il y aura une faible teneur en minéraux qui ne permet pas une bonne récupération.

- On retrouve de la caféine qui peut surexciter le sportif, faire élever sa tension artérielle et le nombre de battements par minute du cœur, ce qui n'est pas nécessaire durant un effort et va nuire à la récupération. De plus, la caféine possède un effet diurétique augmentant donc les pertes en minéraux et aggravant la déshydratation.
- Ces boissons sont également riches en acides. Ainsi, elles vont contribuer à l'acidification de l'organisme et augmenter le risque de blessures musculaires, tendineuses et osseuses.

Nous avons vu les différents types de boissons d'hydratation que l'on peut rencontrer. Ces boissons dépendent du type d'effort et devront donc être choisies en conséquence. Il faudra veiller à bannir les boissons énergisantes, qui sont en réalité, des poisons pour le sportif, provoquant les effets inverses de ceux souhaités.

Nous allons voir maintenant les barres et gels énergétiques.

1.2.2. Les barres et gels énergétiques

Les barres énergétiques sont des produits riches en glucides (à base de maltodextrine, sirop de glucose, fruits confits et céréales).

Une barre fournit environ 200 calories pour 50g de glucides, on retrouve aussi un peu de protéines et de lipides.

Leur but est donc un **apport de substrats énergétiques** à consommer lorsque le sportif a besoin d'énergie rapidement (avant, pendant ou après l'effort) et cela, de manière pratique car elles prennent peu de place, sont déjà conservées dans des sachets individuels et existent en une grande variété de goûts. On peut aussi les utiliser en en-cas car elles contiennent moins de sucres et moins de calories que les barres dites « confiseries », de plus, elles sont souvent riches en fibres et en vitamines.

Il faut donc que ces barres contiennent environ 50g de glucides et éviter qu'elles soient trop riche en lipides (pas plus de 4-5g par barre) afin d'éviter les inconforts digestifs et l'apport de calories inutiles. La richesse en BCAA, vitamines et minéraux est également à prendre en compte, que ce soit pour en apporter pendant un effort (pour la durabilité de celui-ci), ou après un effort pour la récupération.

Les gels énergétiques sont disponibles en petites « *pochettes* » à boire et sont constitués en majorité de sucres (fructose et glucose) et de glucides complexes (maltodextrine). Ils peuvent aussi contenir des électrolytes, de la caféine...

Leur but est d'apporter un **concentré de calories** sous forme de glucides, à consommer rapidement et de manière facile. On retrouve ces gels surtout dans les sports d'endurance (supérieurs à 1h30) où le sportif veut maintenir sa glycémie constante et ainsi retarder l'apparition des phénomènes d'épuisement. La consommation de ces gels à un effet similaire sur la glycémie à celui des boissons d'hydratation vues *infra*, il faudra cependant que le sujet n'oublie pas de s'hydrater à côté. L'avantage de ces gels est leur **simplicité d'utilisation** dans des sports d'endurance où le sportif ne peut pas prendre le temps de s'arrêter pour une collation.

Ces barres et gels énergétiques sont donc des concentrés de nutriments dont le but est d'apporter de l'énergie rapidement (gels) et de manière retardée (barres). Ces compléments sont ainsi utilisés pour garantir la durabilité de l'effort et apporter rapidement, après les séances de sport, les nutriments perdus.

Nous allons maintenant nous intéresser à des compléments alimentaires très connus par le public, servant souvent à stigmatiser les sportifs : les poudres de protéines.

1.2.3. Les poudres de protéines

Ce sont les compléments alimentaires les plus connus et les plus caractéristiques des sportifs. Certaines personnes les qualifient d'outil de « *gonflette* », de « *dopage* » ou encore de remède miracle dans la recherche de prise de masse maigre. Ces compléments sont souvent décriés et génèrent beaucoup d'idées reçues. Nous allons donc nous intéresser à leur fabrication, leur composition et la justification des nutriments que nous devrions rencontrer dans ces compléments et les différentes poudres existantes.

1.2.3.1. Notions générales sur les poudres de protéines

Les poudres de protéines contiennent principalement du **lactosérum**, dérivé du lait, une sorte de « *lait en poudre amélioré* ».

Comme pour produire le lait en poudre, on retire l'eau du lait classique. Ce lait déshydraté contient de manière naturelle, des protéines mais aussi des glucides (lactose principalement) et des lipides. Ces glucides et lipides sont alors retirés quantitativement le plus possible afin d'avoir un ratio en protéines le plus important possible. Il y a, dû au retrait de glucides et de lipides, souvent ajout d'édulcorant pour améliorer le goût.

L'objectif de ces produits est de **compléter les repas**, en aucun cas ils ne doivent substituer ceux-ci.

Nous avons vu qu'une personne sédentaire, dû au turnover protéique, doit avoir un apport protéique d'environ 0,6g à 0,8g par Kg de poids de corps par jour.

Pour le sportif, la dégradation et la reconstruction des tissus mobilisés et lésés favorisent un turnover négatif (excès de catabolisme) sans apport alimentaires supplémentaires. L'exercice sensibilise le muscle pour la production de nouvelles fibres dont la fabrication se réalise à partir des acides aminés. Ainsi, **l'apport de protéines, en complément d'une activité sportive, a un effet anabolisant sur la prise de masse musculaire chez le sportif**. La majorité de l'énergie musculaire est donnée par le glycogène musculaire, mais une partie de cette énergie est produite à partir des acides aminés. Les acides aminés branchés (BCAA) sont les principaux utilisés pour cette phase.

De plus, les sportifs ont une masse musculaire plus importante qu'un sédentaire, ce qui provoque un accroissement des besoins protéiques journaliers de base.

Nous avons également vu que les besoins protéiques des sportifs ne sont pas identiques en fonction du sport qu'ils pratiquent (*partie II, sous-partie 1.3.3.*).

Les travaux de **Gaine et al**³² montrent que la prise de 0,8g de protéines par kg de poids de corps par jour chez les sportifs d'endurance, n'est pas suffisante pour maintenir un équilibre protéique positif. Avec un apport de 1,8g/kg/j de protéines, l'équilibre protéique devient positif, ce qui témoigne d'une accumulation de masse musculaire. Ils en déduisent alors que **pour les sportifs d'endurance les besoins quotidiens varient de 1,2g à 1,6g de protéines par Kg de poids corporel par jour** suivant l'intensité de l'effort fourni. **Pour les sportifs de force, les besoins sont bien plus importants, leur apport doit se situer entre 1,6 et 1,8g de protéines par kg de poids corporel par jour.** En effet, les séances de musculation sont très destructrices pour le tissu musculaire, et donc consommatrices d'acides aminés. Ces apports de protéines sont à fractionner dans la journée sur 4 à 6 repas, on parle alors de 20 à 30g de protéines par repas afin que la quantité prise soit suffisamment stimulante (anabolisante) pour le muscle, et, que les capacités d'absorption ne soient pas dépassées.

Nous avons donc vu que les poudres de protéines sont simplement du lait déshydraté auquel on enlève le trop plein de sucres et de graisses. Cependant, il en existe un grand nombre, avec des noms différents. De plus, il existe des poudres de protéines dont l'origine n'est pas laitière, notamment les compléments protéiques de blanc d'œuf et de soja que nous allons voir.

1.2.3.2. La Whey

La Whey est le complément protéique le plus connu. La Whey est en fait une partie du lait, le lactosérum (le lait est composé à 80% de caséine et à 20% de lactosérum). Le lactosérum ou *petit lait* est le liquide qui surnage à la surface des yaourts, **c'est une des protéines les plus assimilables pour l'organisme humain** (elle possède la plus haute qualité biologique comme vu dans la *partie II, sous partie 1.3.4*). Ainsi, les acides aminés qui la composent seront très bien assimilés. De toutes les protéines utilisées par les sportifs, la Whey est la plus riche en cystéine (2,45g pour 100g de protéines), elle est aussi riche en BCAA (surtout en leucine) avec une moyenne de 25% des acides aminés. La Whey est en revanche pauvre en arginine (entre dans la synthèse de la créatine phosphate) et en glutamine.

Il existe deux façons d'obtenir de la Whey en fonction de la matière première de fabrication :

- **La Whey fromagère** : C'est la Whey que l'on retrouve le plus souvent sur le marché car c'est **la moins onéreuse**. Elle est obtenue par récupération des déchets issus de la fabrication des fromages. Le lait initial a donc subi une fermentation par des bactéries et a été caillé. Ainsi, les acides aminés ont déjà subi une double dégradation.

Afin de mesurer cette teneur de dégradation, il faut analyser le taux de GlycoMacroPeptides (GMP). Lorsque l'on utilise des produits chimiques pour transformer le lait en poudre de protéines, et notamment en Whey, les protéines se dégradent. Les molécules se modifient pour former des peptides que l'on appelle des GMP ou GlycoMacroPeptides. Ces GMP ne sont pas facilement assimilables par l'organisme, voire pourraient provoquer des problèmes de santé sans démonstration formelle à ce sujet (par

³² Gaine Patricia, Matthew A, Pikosky, William F, Douglas et al. Level of dietary protein impact whole body protein turnover in trained males at rest, *Metabolism Clinical and Experimental*, avril 2006, 55(4), 501-507

mesure de précaution les GMP sont interdits dans les laits en poudre pour nourrissons). Ces GMP sont pauvres en leucine, un BCAA, important pour la récupération musculaire. Ce taux de GMP présent dans les Whey fromagères varie de 15 à 35%. Ainsi, soit la Whey produite est vendue en l'état, soit les industriels effectuent un traitement pour enlever les GMP. Les GMP retirés sont souvent revendus à d'autres fabricants qui les ajoutent dans leurs protéines en poudre, cela s'appelle *l' amino Spiking*. Au niveau étiquetage, si on retrouve la présence de ces GMP alors c'est le signe d'un produit de mauvaise qualité, de même s'il y a ajout d'acides aminés en plus de la Whey (*Amino Spiking*). En revanche, les industriels ont pu traiter leur Whey pour les enlever, on ne les retrouve donc pas dans l'étiquetage des ingrédients.

- **La Whey laitière** : Elle est **directement produite à partir du lait** sans avoir été transformé en fromage. Cette Whey est plus couteuse que la Whey fromagère. Les acides aminés ont subi moins de dégradations lors du processus d'extraction et ainsi cette Whey ne contient pas de GMP. Elles sont souvent appelées whey « *natives* » ou « *bionatives* ».

Au niveau de l'étiquetage la différence est assez subtile. Si rien n'est spécifié sur l'étiquette packaging de la Whey que l'on veut consommer, alors il s'agit très souvent d'une Whey fromagère, **l'origine laitière de la Whey étant un argument de qualité** il est mis en avant par les industriels.

S'il est juste spécifié, sur l'étiquetage des ingrédients du produit, « *protéines de lactosérum* » ou « *issu du lait* » alors il s'agit d'une Whey fromagère également. Pour la Whey laitière, on retrouve sur l'étiquetage des ingrédients du produit la mention « *protéines de lait* ».

Pour ces Wheys fromagères ou laitières il existe trois processus de filtration afin d'extraire les protéines du lactosérum, donnant trois noms aux Wheys :

→ **Le concentré de Whey** : c'est la forme la plus simple et la moins onéreuse, elle est le reflet d'un produit bas de gamme. Il possède une forte concentration en lactose et est alors à risque d'induire des intolérances (douleurs intestinales, diarrhées, ballonnements...). La concentration en protéines dans les concentrés est de 70-80%.

→ **L'isolat de Whey** : Il s'agit d'une Whey plus filtrée que le concentré. Il va donc être moins riche en lactose et plus riche en protéines. Cela va donc être un produit de meilleure qualité mais plus onéreux. Sa concentration en protéines se situe autour des 90% avec une meilleure valeur biologique que le concentré.

→ **L'hydrolysat de Whey** : Il s'agit d'une Whey que l'on a prédigérée par des enzymes (obtention de di ou tri-peptides au lieu de protéines entières dans les autres formes). Ces hydrolysats ont souvent un goût très mauvais et fort, masqué par les fabricants avec des ajouts d'arômes artificiels. Du fait de la prédigestion des protéines, les hydrolysats de Whey sont les plus rapidement assimilés par l'organisme, cependant, si les doses prises sont trop importantes il peut y avoir une digestion difficile avec possibilité de diarrhées. C'est la sorte de Whey dont le prix est le plus élevé. Ce degré d'hydrolyse n'est pas toujours spécifié dans les informations du produit mais il doit se situer entre 20 et 30%. Plus ce pourcentage augmente, plus l'amertume en bouche sera élevée, et le prix aussi. Du fait de cette rapidité d'assimilation, cette Whey est préférée en collation d'après entraînement, afin de stopper le catabolisme musculaire de la fin d'entraînement pour favoriser l'anabolisme et donc la récupération musculaire.

Burke et al³³ apportent à une population d'hommes pratiquant la musculation une supplémentation en Whey à une hauteur de 1,2g de Whey par kilos de poids corporel par jour, et une supplémentation de glucides à un deuxième groupe comme placebo à une hauteur de 1,2g de maltodextrine par kilos de poids corporel par jour. Cette expérience a été réalisée sur un programme de 6 semaines. Les conclusions de cette étude sont les suivantes :

- Le groupe sous placebo a gagné 900g de muscle contre 2,3 Kg pour le groupe sous Whey.
- En ce qui concerne le gain de force, sur les différents exercices (développé couché, squat, legs extension), on ne note pas d'avantage pour le groupe sous Whey.
- Pour la masse graisseuse, elle reste stable sur les deux groupes.

Cette étude montre donc bien l'efficacité des suppléments de type Whey sur la prise de masse maigre chez le sportif. En revanche, elle ne va pas faire gagner de la force musculaire.

Les compléments à base de Whey sont donc indiqués chez le sportif voulant développer sa masse maigre, c'est-à-dire sa masse musculaire. Il sera conseillé pour le sportif de prendre ce complément environ **30 minutes à 1 heure après son entraînement, c'est ce qu'on appelle la fenêtre anabolique** (moment où les cellules musculaires seront les plus aptes à recevoir des protéines pour se reconstruire). Avec la Whey, le consommateur doit répéter les prises s'il veut maintenir un taux d'acides aminés constant dans le sang. Cette pression d'acides aminés aura un effet anabolique sur l'utilisation des acides aminés par les muscles.

La Whey est alors conseillée juste après les entraînements ou le matin au réveil après le jeûne nocturne.

Nous avons donc vu les différentes Whey existantes et leurs rôles. Ces compléments sont à utiliser juste après une séance pour intervenir sur l'anabolisme protéique.

Nous allons maintenant voir les compléments de caséine, compléments à digestion plus lente que la Whey.

1.2.3.3. La Caséine

La caséine est la **protéine majoritaire dans le lait** (80% de caséine et 20% de lactosérum). Elle est très riche en acide glutamique et en tyrosine. Cependant, elle est moins riche en arginine et cystéine.

Il s'agit d'une **protéine à assimilation lente**. Cet apport de caséine va permettre d'avoir une action plus longue et d'avoir une **action anti-catabolique** en permettant d'obtenir un bon apport en protéines assimilées sur une longue période. Cela va avoir pour conséquence sur l'organisme d'éviter de dégrader les protéines musculaires.

³³ Burke D, Chilibeck p, Davison S et al. The effect of whey protein supplementation with and without creatine monohydrate combined with resistance training on lean tissue mass and muscle strength. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 2001, 11, 349-364

Elle est moins coûteuse que la Whey.

Il existe plusieurs sortes de caséines :

→ **Le caséinate de sodium/calcium/magnésium** : C'est la forme la moins onéreuse. Du fait de son processus d'extraction, les acides aminés présents sont moins bien assimilés qu'avec les formes de caséines suivantes. Ainsi, ces compléments protéiques sont très peu anaboliques. La présence de caséinate de sodium, de calcium ou de magnésium est le signe d'un produit bas de gamme, étant très peu onéreuse à produire pour le fabricant qui fait gonfler ses marges.

→ **La caséine micellaire** : Ses acides aminés sont mieux absorbés que la formule précédente. Elle est aussi appelée « *protéine totale de lait* ». Ainsi, elle contient souvent un peu de Whey (10-20%) ce qui reflète son origine laitière. La durée d'action de cette caséine micellaire est plus prolongée que celle exercée par la caséinate de sodium, de calcium, ou de magnésium. Ainsi, elle protège les muscles d'un éventuel catabolisme entre deux repas et au cours de la période nocturne.

→ **L'hydrolysat de caséine** : Comme pour la Whey, ce sont les formes de caséines les plus coûteuses. La caséine est pré-digérée grâce à des enzymes. Ainsi, l'absorption se fait plus rapidement et le goût est là aussi assez mauvais. Attention à l'excès de prise de ces hydrolysats de caséine car, comme pour les hydrolysats de Whey, cela peut engendrer des diarrhées quasi immédiates.

La caséine fait partie des **protéines à digestion lente**. La lenteur de cette assimilation est due à la précipitation qui se forme dans l'estomac grâce au milieu acide. L'avantage de cette précipitation est que le consommateur n'a pas besoin d'enchaîner les prises de protéines de manière fréquente dans la journée comme il le ferait avec la Whey.

Du fait de cette différence de vitesse d'assimilation, le niveau plasmatique en acides aminés après la prise de **Whey** est beaucoup plus élevé que le niveau plasmatique après la prise de caséine (*Figure 16*). Ainsi, **l'anabolisme protéique est stimulé**.

La caséine, du fait de sa digestion plus lente, ne produit donc qu'un effet modeste sur l'anabolisme. En revanche, la caséine va permettre de freiner la dégradation des protéines car, contrairement à la Whey qui est vite assimilée et utilisée, **la caséine** grâce à son absorption plus lente permet de garantir un taux plasmatique en acides aminés plus lissé dans le temps (*Figure 16*). Ainsi, elle **s'oppose aux processus cataboliques** physiologiques de l'organisme.

Avec la caséine, cette prise doit se faire de manière moins fréquente que la Whey, la concentration d'acides aminés dans le sang évolue moins brusquement et de manière plus durable dans le temps (*Figure 16*). Ainsi, la caséine aura un effet anti catabolique. C'est pour cela que **la caséine est conseillée le soir, juste avant le coucher, afin de freiner le phénomène catabolique nocturne physiologique**. Cette prise de caséine est aussi conseillée comme « **jonction protéique** » si les repas sont un peu trop espacés.

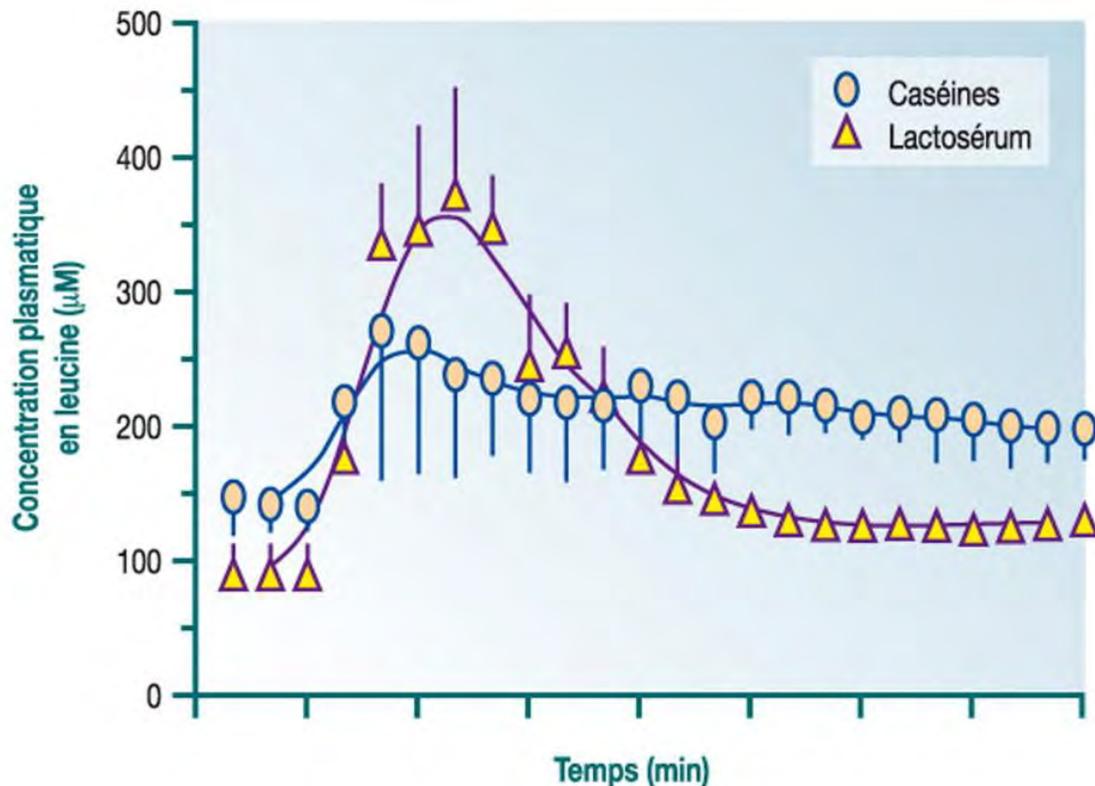


Figure 16 : Comparaison de la concentration en leucine (BCCA) dans le temps, entre une prise de caséine et une prise de lactosérum (Whey)³⁴

Après avoir vu la caséine, un complément alimentaire protéique offrant des protéines à digestion lente, nous allons nous intéresser aux compléments à base de protéines d'œuf qui présente également une assimilation lente.

1.2.3.4. Les protéines d'œuf

Il s'agit d'un complément protéique à **assimilation lente**. Avant l'arrivée de la Whey, les compléments à base de protéines de blanc d'œuf étaient les compléments protéinés de référence, dont la qualité biologique était la meilleure. Elles sont riches en acides aminés soufrés et en phénylalanine, mais leur coût est élevé. Elles ne sont plus beaucoup utilisées aujourd'hui du fait de leur coût, leur goût salé et leur qualité biologique moins bonne que les Whey. Cependant, le blanc d'œuf liquide conserve encore ses adeptes, notamment pour les sportifs qui ne tolèrent pas les protéines de lait. Attention cependant à leur teneur en sodium assez élevé bien qu'elles soient souvent, en partie, dessalées.

³⁴ Gryson C, Walrand S, Guillet C, Boirie Y, Médecine des Maladies Métaboliques, volume 2, issue 4, septembre 2008, 355-362

1.2.3.5. Les protéines de soja

Les compléments protéinés à base de soja sont **très recherchés par les végétariens** puisque ces protéines n'ont, bien sur, pas d'origine animale. Elles sont riches en arginine. Cependant, leur **potentiel anabolique est inférieur à celui des protéines animales**.

Les acides aminés du soja sont assimilés plus rapidement que ceux des dérivés du lait, mais cette assimilation est cependant de qualité moindre. En effet, par rapport aux protéines du lait, celles du soja sont plus détruites, à une hauteur de 20% et sont finalement non assimilées. Cette différence d'assimilation s'accroît avec l'augmentation de la quantité de protéines ingérées.

Erin C. Brown et al³⁵ comparent l'effet de la prise de soja contre la prise de Whey sous forme de barres énergétiques. Chaque barre contient la même quantité de substrat énergétique (11g de protéines, 26g de glucides, 4g de lipides). Ces barres ont été prises trois fois par jour pendant neuf semaines chez des hommes pratiquant la musculation. Nous avons donc un groupe supplémenté avec la Whey protéine, un groupe avec le soja, et un groupe sans supplémentation. Les auteurs notent, dans chaque groupe, un gain de masse musculaire après ces 9 semaines. Le groupe sans supplémentation enregistre un gain de 700g de cette masse, le **groupe sous soja gagne 1,3 kg** et le groupe sous Whey gagne 2,1kg. Cette étude nous montre alors, bien que la supplémentation par le soja ne soit pas la plus efficace, elle permet tout de même au sportif de gagner en masse musculaire (*Figure 17*). De plus, cette étude nous montre que dans le groupe sous soja, le taux plasmatique d'antioxydant est plus élevé que dans les deux autres groupes.

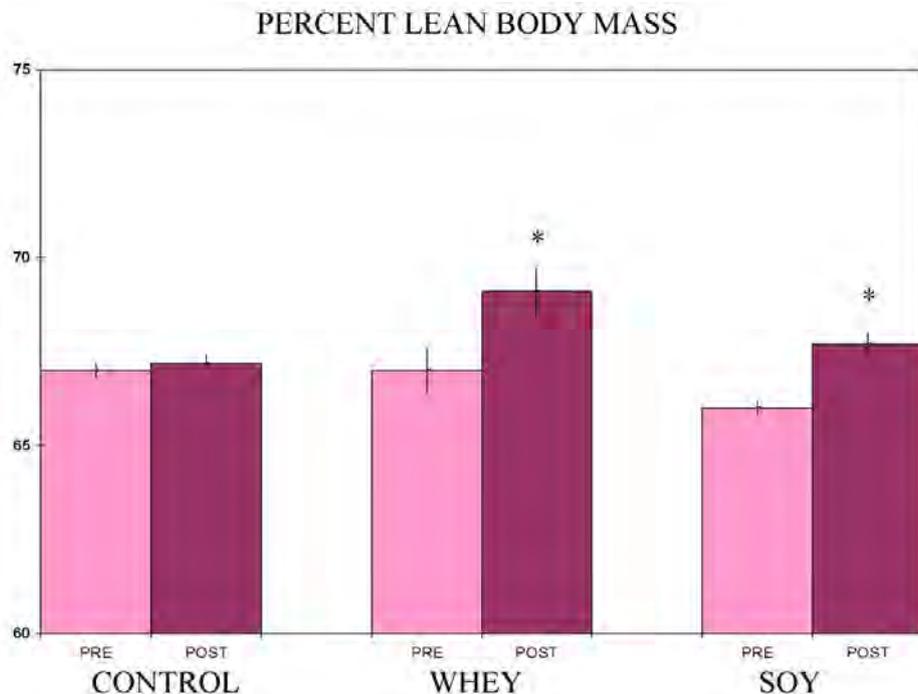


Figure 17 : Comparaison du pourcentage de masse maigre (masse musculaire) avant et après l'étude de Brown et al, chez 3 groupes (groupe contrôle, groupe sous Whey et groupe sous soja)³⁵

³⁵ Erin C Brown, Robert A DiSilvestro, Ari Babaknia et Steven T Devor, Soy versus whey protein bars : Effects on exercise training impact on lean body mass and antioxidant status, Nutrition journal, 2004, 3, 22

Attention cependant à une particularité des compléments à base de soja : la présence d'isoflavones qui possèdent des effets œstrogéniques. Ces effets œstrogéniques pourraient ainsi contrer la production de testostérone due à l'élévation des hormones femelles. Or, nous connaissons l'importance de cette hormone anabolisante chez le sportif.

Grâce à ces isoflavones, nous constatons dans l'étude de Brown et al³⁷ que la supplémentation en soja permet d'élever les défenses antioxydantes contrairement à la supplémentation en Whey. Ainsi, cet effet antioxydant va contribuer à l'atténuation du catabolisme musculaire suite à un entraînement, et donc cela va permettre de s'entraîner plus souvent en facilitant la récupération.

1.2.3.6. Conclusion sur les poudres de protéines

En 1997, **G. Biolo et al³⁶** supplémentent abondamment en acides aminés, pendant 3h, des hommes aux repos. Ils notent alors une augmentation de l'ordre de 141% de la vitesse de synthèse des protéines musculaires. Puis, chez les mêmes sujets, une supplémentation identique est administrée cette fois ci juste après une séance de musculation. Il note alors une augmentation de l'anabolisme de l'ordre de 291%. Ceci montre bien que **la pratique sportive sensibilise le muscle à l'action anabolisante des acides aminés.**

La prise de ces suppléments, et plus largement de l'alimentation, après un effort d'intensité modéré doit se faire le plus rapidement possible après celui-ci. En effet, cela va permettre de stimuler l'absorption musculaire de glucose (3,5 fois plus) et l'anabolisme musculaire (6 fois plus). De plus, dans les minutes après un effort, les muscles restent congestionnés, ce qui traduit un flux sanguin musculaire important et donc un apport en nutriment associé.

- Ceci est particulièrement vrai pour les **sportifs de force** où on recherche, outre la récupération, l'anabolisme musculaire.

- Pour les **sportifs d'endurance** ou pour les efforts de longue durée (2h), la supplémentation post-effort est surtout basée sur les glucides afin de refaire un stock de glycogène épuisé et ainsi réduire le temps de récupération. On intègrera également des compléments riches en **BCAA** à la fin de l'effort pour la reconstruction musculaire (*Partie III, sous-partie 1.2.4. cf infra*). Les protéines devront également être prises justes avant l'effort (10-15min). Cela va permettre de garder un taux d'acides aminés élevé afin de retarder l'apparition de la fatigue générale de l'organisme, et permettre d'avoir un effet anabolique en fin de séance avec les acides aminés qu'il reste dans le flux sanguin.

- Pour les **efforts de courte durée**, la prise de protéines est plus judicieuse avant l'activité, afin de garantir un taux sanguin en acides aminés optimal et ainsi booster un anabolisme immédiat.

La **pratique sportive justifie alors une augmentation des apports en protéines**, mais cette augmentation **ne doit pas se faire sans limite**, au risque de freiner la progression du sportif. **Gaine et al³²** montrent qu'il existe un plafonnement de la réponse anabolique avec l'augmentation de la quantité de protéines ingérées après un effort. En effet, avec une consommation de 0,8g de protéines par Kg de poids corporel par jour, le sportif d'endurance

³⁶ G Biolo, KD Tipton, S Klein, RR Wolfe, An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein, The American Journal of Physiology, 1997, 273, E122-9

dégrade 14% de son apport protéique. Avec un apport de 1,8g/Kg/j, 25% des acides aminés sont dégradés. Et avec un apport de 3,6g/Kg/j, 54% des protéines sont dégradées. Ils démontrent alors **qu'au delà de 2,4g de protéines ingérées par Kg de poids corporel par jour, la réponse anabolique plafonne, alors que la vitesse de dégradation des acides aminés ingérés augmente**. Les facultés du système digestif à assimiler des quantités croissantes de protéines seront dépassées et les capacités d'éliminations des acides aminés augmentent.

La prise de compléments protéiques, surtout en excès, peut avoir des effets néfastes sur l'organisme du sportif :

- **Génération d'acide** : c'est un des risques d'une supplémentation en acide aminés. L'apport trop important de protéines peut déséquilibrer l'équilibre acido-basique et ainsi favoriser l'apparition d'un terrain acide. Cela peut engendrer une baisse des performances et l'apparition de blessures osseuses ou musculo-tendineuses (tendinites notamment).

- **Sur utilisation de la fonction hépatique** : le foie a pour mission de transformer l'ammoniaque (produit toxique du catabolisme protéique) en urée, dans le but d'être excrété par la fonction rénale, *via* le flux sanguin, après filtration. Cette action, à terme, peut fatiguer la capacité d'épuration du foie.

- **Troubles rénaux** : les fonctions principales des reins sont l'élimination des déchets issus des divers métabolismes, l'élimination d'éventuelles substances toxiques et aussi le maintien de l'équilibre hydroélectrique. Il est évident que des concentrations importantes de déchets (urée, acide urique, créatinine), générées par une consommation trop importante en protéines, fatiguent et usent la fonction rénale. Ces troubles sont en fait surtout dus à une éventuelle restriction hydrique associée. En effet, plus la consommation en protéines augmente, plus l'apport en eau doit s'accroître en parallèle afin de diluer les déchets métaboliques et en faciliter leurs éliminations.

- **Élévation de la masse grasse** : les nutriments protéiques excédentaires vont alimenter, après transformation lipidique par le métabolisme hépatique, les réserves lipidiques de l'organisme (couches adipeuses sous-cutanées).

Il est donc conseillé, pour le sportif consommant des compléments protéiques, **d'augmenter de manière conséquente leurs apports hydriques en parallèle à leur consommation de protéines**. De plus, les capacités digestives ne permettent pas l'assimilation de plus de 30g de nutriments protéiques par bol alimentaire, d'où l'intérêt de **fractionner les repas**. Ainsi, cinq prises de 30g de protéines sont nécessaires aux besoins d'un sportif de force de 90 kg (90 x 1,7g d'apport conseillé = 153 g de nutriments protéiques par jour, soit 5 prises de 30g). L'autre avantage de ces prises fractionnées est un constant taux sanguin assez élevé d'acides aminés, étant disponibles à tout moment pour l'anabolisme protéique et la réparation tissulaire.

Nous avons donc suivi les différents compléments protéiques en poudres disponibles, leurs quantités utiles, leurs différents aspects et les risques éventuels d'une surconsommation.

Nous allons maintenant nous intéresser aux compléments à base de BCAA, apportant donc des acides aminés ciblés.

1.2.4. Les Acides Aminés Branchés (BCAA)

Les BCAA (*Branched Chain Amino Acids*, ou acides aminés branchés) regroupent trois acides aminés : **la leucine, l'isoleucine et la valine**. Ils sont tous les trois des acides aminés essentiels, notre corps ne possède pas les enzymes pour les synthétiser et nous devons donc les fournir par l'alimentation. Pourtant, ils représentent, au niveau structurel, 1/3 des protéines musculaires squelettiques.

Le but de compléter son alimentation par des acides aminés particuliers est de renforcer son alimentation de manière plus ciblée. Ces acides aminés sont ceux qui se dégradent en premier lors d'un effort physique. Il est donc important de les **consommer autour d'une séance d'entraînement**, ils permettront ainsi de conserver et restaurer les réserves d'acides aminés nécessaires à l'effort et à la construction musculaire. Ils peuvent alors être pris avant, pendant ou après l'entraînement.

- **Avant l'entraînement**, la prise de BCAA permet d'augmenter les réserves d'acides aminés de l'organisme. Cela évite donc d'épuiser, pendant l'effort, ces réserves énergétiques.

- **Pendant l'entraînement**, les BCAA vont permettre d'améliorer les performances. En effet, lors d'un effort de longue durée l'organisme utilise les BCAA des muscles pour produire de l'énergie, induisant ainsi une dégradation de l'architecture de nos muscles. L'apport de BCAA va alors ici permettre de réduire la dégradation de nos muscles actifs. De plus, la consommation de BCAA pendant un effort va permettre de maintenir la concentration sanguine en acide aminés à un niveau élevé, ce qui va permettre d'éviter que l'organisme ne puise trop rapidement dans les stocks de glycogène.

- **Après l'entraînement**, ils vont permettre de faciliter la récupération et la reconstruction musculaire. Ils ont alors une action anti-catabolique.

Ainsi, les BCAA, en améliorant les performances, en augmentant les réserves d'acides aminés et en stoppant le catabolisme musculaire vont permettre : d'augmenter la masse musculaire, d'éviter l'épuisement des réserves en protéines et acides aminés de l'organisme, d'apporter de l'énergie pendant les séances d'entraînement et ainsi améliorer l'endurance. Le tube digestif ne dégrade que très peu les BCAA, ainsi la prise orale de ces acides aminés augmente facilement le taux sanguin en BCAA. La quantité de BCAA ingérée doit être de l'ordre de 5 à 10 grammes à répartir autour des séances d'entraînement pour les prises de masse et les séances de force. Pour la sèche, le dosage de ces acides aminés sera de 3 à 5 grammes par jour.

1.2.5. Les compléments de Vitamines, Minéraux et Antioxydants

Comme nous avons vu précédemment (*Partie II, sous-partie 2.*) les vitamines et minéraux sont indispensables au développement et au fonctionnement de l'organisme. La plupart doit être apportée à l'organisme au quotidien.

Il est indéniable que **la pratique sportive régulière accroît les pertes micronutritionnelles** dues à l'accélération des phénomènes physiologiques, au stress oxydant, à l'augmentation des pertes *via* les urines et la sueur. Ainsi, il en découle logiquement un accroissement des besoins.

Les Apports Journaliers Recommandés (AJR) en vitamines et minéraux représentent une moyenne statistique, ils ne prennent pas en compte les besoins spécifiques des sportifs

et il est difficile d'objectiver les besoins réels de la plupart des sportifs. Une alimentation équilibrée et un apport énergétique suffisant constituent le moyen le plus efficace de couvrir les besoins vitaminiques et minéraux. Il n'est jamais nécessaire de dépasser les 200% des AJR. **Nous ne sommes pas dans une réelle augmentation des performances chez les sportifs suite à une prise multivitaminique, mais plutôt dans une visée d'amélioration de certains paramètres de santé et de réduction de la fatigue physique due à la répétition des entraînements.**

Les processus d'oxydation de l'organisme vont provoquer la formation de radicaux libres, c'est-à-dire de molécules auxquelles il manque un électron, qui vont s'attaquer aux cellules de l'organisme et ainsi les léser. Ces processus sont physiologiques et nous produisons constamment des radicaux libres. **L'activité sportive, en raison de l'accélération des phénomènes physiologiques, va stimuler l'apparition de ces radicaux libres.** En règle générale, les antioxydants sont à utiliser en cocktail et non individuellement car leurs actions sont **complémentaires et synergiques**. *Par exemple, associer deux vitamines antioxydantes comme la vitamine E et la vitamine C, l'une liposoluble (Vitamine E) et l'autre hydrosoluble (vitamine C) qui vont agir respectivement dans les membranes cellulaires lipophiles et à l'extérieur ou à l'intérieur des cellules hydrophiles.*

Encore une fois, l'objectif recherché est la réduction de la fatigue physique et l'amélioration de la récupération afin de pouvoir répéter les séances d'entraînements. Certains minéraux comme le sodium et le potassium sont eux, à compléter à l'alimentation chez les sportifs notamment d'endurance ou dans les cas d'efforts intenses. Nous allons maintenant nous intéresser à une substance qui pose souvent question chez le sportif : la caféine.

1.2.6. La Caféine

La caféine est une molécule que l'on retrouve dans de nombreux compléments alimentaires, médicaments ou même boissons de tous les jours. On peut la retrouver bien sûr dans le café, dans le thé, le maté ou encore dans les graines de guarana.

Mécanisme d'action et effets

- La caféine agit par une stimulation du système nerveux central. Ce qui provoque une augmentation de la vigilance, de la concentration et une baisse de somnolence.
- Elle provoque une stimulation de la sécrétion d'adrénaline qui reste modeste cependant.
- Elle agit comme un antagoniste des récepteurs à l'adénosine (qui agit comme un vecteur de fatigue lorsque les molécules d'ATP sont cassées afin de libérer de l'énergie). Nous aurons donc un effet désinhibiteur sur l'activité cérébrale.
- La caféine va également agir sur la force de contraction des muscles³⁷.
- Elle provoque une augmentation du rythme cardiaque, de la contractilité du cœur et de la pression artérielle.
- Elle accélère également la mobilisation des graisses³⁸, procurant un apport d'énergie lors d'effort prolongé. Elle active la lipolyse dans les adipocytes et inhibe la lipogénèse.

³⁷ JM Kalmar et E Cafarelli, Effects of caffeine on neuromuscular function, Journal of Applied Physiology, 1999, 87(2), 801-808

- Elle joue aussi sur les glucides en contribuant au maintien de la glycémie et en augmentant l'absorption intestinale des glucides lorsqu'elle y est associée dans les boissons.

La caféine est une molécule qui agit assez rapidement. La concentration maximale de caféine est obtenue 60 minutes après la prise. Les effets cardiaques sont eux visibles de 15 à 45 minutes après la prise ce qui justifie la prise de caféine juste avant un effort. En revanche, ses effets sur la mobilisation des graisses est optimale 3 heures après la prise.

La posologie recommandée pour la caféine, ne provoquant aucun désagrément, est entre 3 et 6mg par Kg de poids corporel (210mg à 420mg pour un sportif de 70Kg). Attention cependant à ne pas consommer du café pour obtenir la dose de caféine. En effet, dans le café il existe une multitude d'autres molécules dont certaines inhiberaient l'action stimulante sur la pratique sportive de la caféine.

La caféine apparaissait il y a quelques années sur la liste des produits dopants, elle n'y est plus aujourd'hui. La caféine n'est pas un produit interdit par la réglementation antidopage mais elle figure sur le Programme de Surveillance de l'Agence Mondiale Antidopage depuis 2004³⁹. Ceci signifie que sa consommation ne positive pas un test antidopage mais cette substance reste sous surveillance afin de vérifier s'il en est fait un usage abusif dans la pratique sportive et, à ce titre, elle peut réintégrer la Liste des Interdictions à tout moment. De ce fait, il n'existe plus de taux limite à respecter dans la cadre de la réglementation antidopage.

1.2.7. La Créatine

La créatine est un dérivé d'acides aminés que l'on retrouve principalement dans les fibres musculaires et le cerveau. La créatine est synthétisée par le corps humain à partir de 3 acides aminés : la glycine, l'arginine et la méthionine. Cette synthèse endogène se fait dans le foie, le pancréas et les reins et représente la moitié des apports en créatine. L'autre moitié est apportée par l'alimentation, principalement par la viande (bœuf surtout à une hauteur de 5g de créatine pour 1Kg de viande) et par le poisson (poisson gras type hareng, saumon, thon à une hauteur de 4 à 10g par Kg de chair de poisson).

L'organisme utilise 3 à 4 grammes par jour de créatine.

Mécanisme d'action et effets

Dans les muscles, une partie de la créatine va se lier au phosphate, sous l'action de la créatine-phospho-kinase, et donc créer la **phosphocréatine**. Cette phosphocréatine va se lier à l'ADP afin de lui céder son phosphate et donc former une molécule d'ATP. Il s'agit, comme vu précédemment (*Partie I, sous-partie 1.3.3.*), de production d'énergie de manière anaérobie. Ainsi, la **créatine permettrait d'accroître l'intensité de l'effort**³⁸. De plus, la créatine présente dans le muscle attire l'eau dans les cellules. Ainsi, elle provoque une **rétenion d'eau** et donc un gain de volume musculaire erroné.

³⁸ E Scotini et al. New derivatives of methylxanthine : effect of thiocaffeine, thiothéophylline and 8-phenylthéophylline on lipolysis and on phosphor diestrase activities. Pharmacol Res Commun, 1983, 15(2), 131-143

³⁹ <https://www.wada-ama.org/fr/media/nouvelles/2013-09/reunion-du-comite-executif-de-lama-a-buenos-aires>

Utilisation

- Elle est surtout utilisée dans les **sports de force** puisque chez ces sportifs la masse musculaire est très importante et les besoins en créatine sont logiquement accrus.
- Elle est aussi utilisée pour les **sports d'intensité élevée**, explosifs, qui puisent directement dans la voie anaérobie pour la production d'énergie.
- Enfin, elle est utilisée pour la **récupération des sportifs** après une séance afin de réduire le temps de récupération et la fonte musculaire.

La dose d'apport supplémentaire en créatine est recommandée, par les industriels, à une hauteur de 2 à 3 grammes par jour. L'ingestion de créatine expose à une augmentation de la créatininémie (produit de dégradation de la phosphocréatine lors d'efforts musculaires) éliminée par les reins. Les effets à long terme d'une ingestion de créatine sont mal cernés. Il semble qu'un apport inférieur à 3g de créatine par jour n'entraîne pas d'effet indésirable rénal⁴⁰.

Cette supplémentation que l'on retrouve sur le marché des suppléments est d'origine synthétique.

A ce jour, la créatine ne fait pas partie de la liste des produits interdits par l'Agence Mondiale Antidopage. Elle fait partie des aliments énergétiques pour sportifs au même titre que les produits vitaminés, les poudres de protéines, les barres énergétiques...

1.2.8. L'Arginine

L'arginine est un acide aminé semi-essentiel. En temps normal, l'organisme le synthétise par lui-même en quantité couvrant les besoins. La synthèse se fait alors à partir de glutamate, de proline ou de glutamine (en se convertissant en citruline). Cependant, il peut arriver qu'il faille un apport exogène afin de pallier une carence.

Encore une fois, chez les sportifs, le métabolisme de base et les besoins sont accrus. Ainsi, chez le sportif, cet acide aminé devient souvent essentiel. Il doit alors être apporté par l'alimentation. On retrouve cet acide aminé dans de nombreux aliments : fruits de mer, viandes, œufs, chocolat, légumes, céréales...

Mécanisme d'action et effets

- L'arginine va tout d'abord entrer dans la synthèse du monoxyde d'azote en servant de substrat à la NO-synthétase. Ainsi, ce monoxyde d'azote produit va **favoriser l'oxygénation des muscles** en provoquant la vasodilatation des artères, il va également être utile comme neurotransmetteur entre cellules nerveuses, et enfin il va permettre de relaxer les cellules musculaires digestives.
- L'arginine entre également dans la **synthèse de la créatine** en s'associant à la glycine sous l'action de l'arginine amidinotransferase. Cela va donc accroître la force et la récupération du sportif.

⁴⁰ Prescrire Rédaction, « Créatine pour sportifs : des risques et des incertitudes », Revue prescrire, juin 2018, 38 (416) : 431

- Enfin, l'arginine entre dans la synthèse de l'urée et donc permet d'accélérer l'évacuation des déchets métaboliques comme l'ammoniaque qui est produit en abondance lors d'efforts. Ici, nous avons donc un rôle de détoxification.

L'arginine subit une grande dégradation par le foie dans le cadre de l'uréogénèse avant même d'atteindre l'intestin où elle est absorbée. Ainsi, il y aura une grande différence entre la quantité ingérée et la quantité réelle absorbée. Pour cette raison, on préfère la supplémentation de son précurseur : la citruline. Cet acide aminé est moins sujet aux dégradations et permettra d'obtenir une quantité d'arginine *in fine* plus importante et donc plus efficace.

Tout comme la créatine, l'arginine va être utile pour les sportifs voulant développer la masse musculaire, dans les sports explosifs d'intensité élevée. L'arginine ne fait pas partie des produits interdits par l'Agence Mondiale Antidopage.

La dose recommandée en arginine se situe autour des 6 grammes par jour à répartir en 2 ou 3 prises.

1.2.9. La Carnitine

La carnitine est une molécule formée d'acides aminés (lysine et méthionine), de vitamines (niacine, B6 et C) ainsi que de fer. Elle est synthétisée par notre foie et nos reins à une hauteur d'environ 20 mg par jour chez une personne sédentaire. Cela couvre une partie de nos besoins car nous en éliminons entre 15 à 50mg/jour. Le complément est donc apporté par notre alimentation en particulier par la viande, le poisson et les laitages. La quasi-totalité de notre carnitine se localise dans les muscles.

Mécanisme d'action et effets

L'un des principaux rôles de la carnitine est de transporter les acides gras vers les matrices mitochondriales des muscles afin de servir de carburant via le cycle de Krebs. Ainsi, **l'organisme va utiliser l'énergie grasseuse et économiser le stock de glycogène**, ce qui permet **l'amélioration des performances d'endurance**. Cette molécule va donc aussi permettre de mobiliser et déstocker les acides gras de l'organisme.

Swart et al⁴¹ supplémentent des marathoniens carencés en L-carnitine à une hauteur de 2g/jour. L'auteur note alors une élévation de leur vitesse de pointe de plus de 5%, leur consommation d'oxygène ainsi que leur rythme cardiaque durant l'effort sont diminués, et de plus la part d'énergie issue des graisses est augmentée. Cette molécule est donc à utiliser chez le sportif d'endurance voulant améliorer ses performances, et aussi chez les sportifs voulant mobiliser d'avantage les acides gras et ainsi « sécher ». La supplémentation conseillée en L-carnitine est de l'ordre de 1 à 2g/jour chez le sportif.

En 2012, les autorités de santé européennes (EFSA, European Food Safety Authority et la Commission Européenne) se sont prononcées sur certaines allégations santé des compléments alimentaires contenant de la carnitine ou de l'acétyl-L-carnitine. Après examen des données scientifiques, elles ont estimé que ces produits **ne peuvent pas prétendre** :

⁴¹ I Swart et al, "The effect of L-carnitine supplementation on plasma carnitine levels and various performance parameters of male marathon athletes", Nutrition Research, 1997, 17(3), 405-414

- Augmenter les performances physiques d'endurance et de résistance en favorisant l'utilisation des graisses par les cellules musculaires, ou améliorer la récupération musculaire après un effort ;
- Réduire les changements de métabolisme liés à l'âge ou rendre le métabolisme énergétique des cellules plus efficace ;
- Diminuer ou réguler les taux sanguins de cholestérol LDL ;
- Aider à la perte de poids au cours d'un régime.

Ces revendications d'effets sont désormais interdites pour les aliments et les compléments alimentaires contenant de la carnitine ou de l'acétyl-L-carnitine. Du fait que la carnitine ne possède pas d'effet réellement démontré, l'AMA n'a pas interdit ou inscrit comme « à surveiller » cette substance.

1.2.10. La Glutamine

La glutamine est un acide aminé non essentiel, il est donc **synthétisé par l'organisme**. Nos muscles sont responsables de 80-90% de la synthèse de glutamine, se servant des BCAA. Encore une fois, la glutamine peut être considérée comme étant essentiel chez le sportif. En effet, chez ceux-ci la capacité de synthèse de l'organisme est largement inférieure à la destruction provoquée par l'effort. Ainsi, il faudra l'apporter au travers de l'alimentation ou de la supplémentation. **La glutamine est l'acide aminé le plus abondant de l'organisme** (60% des acides aminés libres des muscles).

Mécanisme d'action et effets

- Son rôle majeur, et le plus connu dans le milieu sportif, est celui de substrat à la synthèse des protéines musculaires. Cet acide aminé va jouer un rôle important pour la croissance musculaire après les efforts. **Thomas C Welbourne**⁴² démontre que la prise de glutamine par des hommes et des femmes multiplie par 4 la sécrétion d'hormone de croissance, favorise l'excrétion rénale d'acide et accroît le niveau de bicarbonate. Ainsi, la **prise de glutamine aiderait à la récupération post effort** en favorisant la synthèse des cellules musculaires et l'expansion de celles-ci. Ceci explique sa prise, que l'on retrouve souvent associée chez les sportifs de bodybuilding, avec de la créatine, de l'eau et des glucides afin de « faire gonfler » les muscles et gagner en volume.
- Une autre utilisation de la glutamine est intéressante pour le bien être des **intestins**. En effet, cette glutamine va permettre d'entretenir les fonctions de la paroi intestinale et de la flore, notamment en jouant sur les jonctions serrées entre les cellules intestinales. Ainsi, elle est indiquée chez le sportif souffrant de troubles digestifs dans l'heure qui suit une séance (douleurs abdominales, ballonnements, diarrhées), ceux-ci étant dus à une perméabilité digestive anormalement accentuée à l'effort.
- La glutamine a aussi un rôle dans le **système immunitaire** puisqu'elle est l'une des sources préférée de ces cellules.

⁴²TC Welbourne, "Increased plasma bicarbonate and growth hormone after an oral glutamine load", American Journal of Clinical Nutrition, 1995, 61(5), 1058-1061.

La prise de glutamine est alors intéressante pour les sportifs voulant améliorer leur **récupération musculaire** et voulant multiplier les séances d'entraînement. De plus, elle est aussi intéressante pour les sportifs voulant prendre en **volume musculaire**.

Les sources naturelles de glutamine vont être le bœuf, le poulet, le poisson, les produits laitiers, les épinards, les haricots.

Les doses en supplémentation sont recommandées à une hauteur de 0,1g de glutamine par kg de poids corporel. Cependant, la glutamine prise par voie orale est interceptée par le foie et surtout par l'intestin comme vu précédemment. Ainsi, la dose plasmatique est restreinte et de cette dose, une petite partie ira dans les muscles (10% de la glutamine, absorbée, seulement finira dans les muscles). La prise de cet acide aminé n'est pas interdite par l'Agence Mondiale Antidopage.

1.2.11. Les plantes et la gelée royale

Utilisée à travers les siècles dans les différentes médecines traditionnelles du monde, l'efficacité de la thérapie par les plantes est reconnue et démontrée scientifiquement. De plus sa dimension naturelle permet à la phytothérapie de convaincre et de s'ancrer dans nos vies modernes. Nous allons donc retrouver différentes plantes intéressantes pour la supplémentation chez le sportif.

1.2.11.1. Le Ginseng

Le ginseng ou *Panax ginseng* est une plante dont la partie utilisée est la racine. Elle est célèbre dans la médecine traditionnelle Chinoise pour ses **vertus tonifiantes et aphrodisiaques**. Son nom *Panax*, panacée, indique qu'elle est réputée comme pouvant tout soigner.



Figure 18 : Photographie d'une racine de Panax ginseng⁴³

Le ginseng a une action tonique générale sur l'organisme. Il stimule le système immunitaire⁴⁴, il améliore les performances physiques et intellectuelles, il améliore la mémorisation et les réflexes, permet une meilleure adaptation à l'effort en diminuant la

⁴³ <https://www.plantes-botanique.org>

⁴⁴ F Scaglione et al, Immunomodulatory effects of two extracts of Panax ginseng, Drugs, Experimental and Clinical research, 1990, 26:537-542

sensation de fatigue⁴⁵ et les douleurs musculaires. Il permet aussi de diminuer le taux d'acide lactique dans le sang et augmenter l'utilisation de l'oxygène par les muscles.

Selon l'OMS, (Organisation Mondiale de la Santé)⁴⁶ la dose recommandée pour laquelle les effets sont présents est de 0,5 à 2g par jour de racine après décoction.

1.2.11.2. L'Éleuthérocoque

L'éleuthérocoque, *Eleutherococcus senticosus*, ou ginseng Russe, est une plante aux **qualités adaptogènes** tout comme le ginseng (c'est-à-dire avec la capacité de ramener à la normale des constantes physiologiques perturbées). Il permet d'augmenter la vitesse d'exécution, la qualité et la capacité à fournir un effort physique, permet la résistance de l'organisme à l'effort et facilite la récupération, il stimule également le système nerveux et l'immunité.



Figure 19 : Illustration de la plante d'éleuthérocoque⁴³

L'EMA (Agence Européenne du Médicament) considère comme « *traditionnellement établi* » l'usage de l'éleuthérocoque dans « *les asthénies, l'état de fatigue et de faiblesse* ». L'OMS reconnaît la racine d'éleuthérocoque comme « *un tonique capable d'augmenter les capacités mentales et physiques lors de fatigue et au cours des convalescences* ».

La posologie est de 2 à 4g de racine séchée en prise quotidienne le matin.

L'éleuthérocoque est déconseillé aux personnes souffrant d'hypertension artérielle, d'insomnie, de troubles nerveux, de diabète, d'obésité ou de maladies cardiaques. Les cures ne doivent pas excéder trois mois pour éviter, selon les praticiens traditionnels, un épuisement de l'organisme.

⁴⁵ L Angelo et al, Double-blind, placebo-controlled clinical study on the effect of a standardized ginseng extract on psychomotor performance in healthy volunteers. Journal of Ethnopharmacology, 1986, 16, 15-42

⁴⁶ <http://apps.who.int/medicinedocs/fr/d/Js2200e/19.html#Js2200e.19>

1.2.11.3. Le Guarana

Le guarana, *Paullinia cupana*, est un arbuste originaire d'Amazonie dont la partie utilisée est la graine. Ses effets reposent sur la présence d'un taux élevé de **caféine** dans les graines (3 à 5%), plus élevé que dans le café (0,04%) ou le thé (0,011%). Cela en fait alors la matière végétale la plus riche en caféine connue.

Nous avons vu précédemment l'impact de la caféine sur le corps et son intérêt dans la pratique sportive.



Figure 20 : Photographie de graines de guarana⁴³

1.2.11.4. L'Acérola

L'acérola, *Malpighia punicifolia*, est le fruit d'un petit arbuste du même nom originaire d'Amérique. L'acérola contient des oligo-éléments, du calcium, du fer, du magnésium, du phosphore, des vitamines A, B6 et C. **L'acérola est 100 fois plus riche en vitamine C que l'orange.**

Ainsi, l'acérola est un excellent tonique, antioxydant, il va aussi stimuler le système immunitaire.



Figure 21 : Photographie du fruit d'acérola sur son arbuste⁴³

1.2.11.5. Le Curcuma

Le curcuma, *Curcuma longa*, est une plante originaire de Java dont le rhizome est utilisé aussi bien à des fins alimentaires que médicinales.



Figure 22 : Photographie de rhizomes de curcuma⁴³

Il possède une capacité **antioxydante** la plus puissante jamais décrite. Il a aussi des **vertus anti-inflammatoires** intéressantes, comme le souligne l’OMS⁴⁶, qui peuvent être utiles dans les blessures de sportifs (tendinites, douleurs articulaires).

La dose efficace, selon l’OMS, est de 1,5 à 3g de poudres de curcuma par jour.

1.2.11.6. La Spiruline

La spiruline, *Spirulina arthrospira platensis*, est une cyanobactérie filamenteuse de couleur verte en forme de spirale. Elle est souvent considérée, à tort, comme une algue.



Figure 23 : Photographie de spiruline⁴³

Elle contient une **concentration importante de nutriments**. Elle renferme entre 40 et 70% de protéines, faisant d’elle, l’aliment le plus concentré en protéines avec la présence de tous les acides aminés essentiels. Elle est aussi riche en fer, en vitamines (B12, E et provitamine A), en oméga 6 et en acide linoléique.

Cette richesse dans la composition de la spiruline fait d'elle un supplément anti carence, antifatigue et énergisant très intéressant pour les préparations sportives et lors d'accumulation d'entraînements.

1.2.11.7. La Gelée Royale

La gelée royale ou encore « lait des abeilles » est une substance sécrétée par les abeilles ouvrières dont la reine des abeilles est exclusivement nourrie. Il s'agit d'un véritable **concentré nutritif et énergétique**, très riche en vitamines du groupe B, minéraux et oligoéléments (fer, cuivre, potassium, phosphore...), acides aminés et acides gras essentiels. Ainsi, cette gelée royale augmente le tonus, stimule les défenses naturelles, diminue la fatigue à l'effort notamment.



Figure 24 : Photographie d'alvéoles d'une ruche d'abeilles, contenant des larves entourées de gelée royale⁴³

Nous avons donc vu que le sportif, face aux différentes activités sportives qu'il peut pratiquer, aux différentes phases dans la pratique sportive (récupération, entraînement) est sujet à des dépenses énergétiques et micronutritionnelles modifiées par rapport à un individu ne pratiquant pas d'activité physique. Malgré le fait de bien connaître le corps humain, ses besoins et ses dépenses lors des activités, certains sportifs souhaitent se tourner vers les compléments alimentaires afin de pouvoir compléter, supplémenter l'alimentation et les apports nutritifs.

Ces apports de compléments alimentaires doivent être justifiés à la pratique sportive de chaque individu ainsi que les dosages. Ces compléments alimentaires vont permettre de favoriser la récupération, la durabilité de l'effort et l'atteinte des objectifs des individus. Ils vont également permettre de compléter une classe de nutriments ou même un nutriment en particulier.

Le sportif est, par nature, un individu qui désire dépasser les limites de son organisme pour atteindre ses objectifs. La quête de la performance à tout prix pousse certains sportifs à dépasser les limites de l'esprit sportif. Afin d'augmenter leurs performances, leurs récupérations, leurs forces, leurs chronos, *ect*, ils vont avoir recours à des substances ou méthodes non autorisées. Le sportif dépasse donc la limite dans l'ajout de produits à sa pratique sportive. Dans la partie suivante, nous verrons les produits dopants existants.

2. LES PRODUITS DOPANTS

La course aux performances et aux atteintes d'objectifs poussent certains sportifs à vouloir dépasser les capacités de leur organisme. Récupérer plus rapidement, réussir plus vite, être le meilleur, être le plus fort. Un état d'esprit positif dans le milieu sportif, où le dépassement de soi est le maître mot.

Pendant, certains de ces sportifs, pour accéder plus rapidement à leurs objectifs ; s'assurer la place de numéro un ; ne pas perdre ; ne pas rater ; ne pas décevoir certaines attentes ; réussir ; vont avoir recours à des substances et à des méthodes illicites. Nous allons alors définir et comprendre ce qu'est le dopage avant de répertorier les différentes substances et méthodes pouvant être rencontrées.

2.1. PRÉSENTATION DU DOPAGE

Selon le Larousse 2018 le dopage est : « *Le fait d'administrer, d'inciter à l'usage, de faciliter l'utilisation, en vue d'une compétition sportive, de substances ou de procédés de nature à accroître artificiellement les capacités physiques d'une personne ou d'un animal ou à masquer leur emploi en vue d'un contrôle.* »

Pour s'assurer la conformité des attitudes sportives dans ce sens, l'**Agence Mondiale Antidopage (AMA)** a été fondée en 1999 à titre d'organisation internationale indépendante. Elle est composée et financée à parts égales par le Mouvement Sportif et les gouvernements. Ses activités principales comprennent la recherche scientifique, l'éducation, le développement antidopage et la supervision de la conformité au **Code mondial antidopage**⁴⁷, le document harmonisant les règles liées au dopage dans tous les sports et dans tous les pays. Ainsi, via ce code, elle nous donne la définition du dopage comme étant « *une ou plusieurs violation des règles antidopage énoncées aux articles 2.1 à 2.10 du Code* » :

- *2.1 : Présence d'une substance interdite, de ses métabolites ou de ses marqueurs dans un échantillon fourni par un sportif ;*
- *2.2 : Usage ou tentative d'usage par un sportif d'une substance interdite ou d'une méthode interdite ;*
- *2.3 : Se soustraire au prélèvement d'un échantillon, refuser le prélèvement d'un échantillon ou ne pas se soumettre au prélèvement d'un échantillon ;*
- *2.4 : Manquements aux obligations en matière de localisation ;*

⁴⁷ <https://www.wada-ama.org/fr/ressources/le-code/code-mondial-antidopage>

- 2.5 : Falsification ou tentative de falsification de tout élément du contrôle antidopage ;
- 2.6 : Possession d'une substance ou méthode interdite ;
- 2.7 : Trafic ou tentative de trafic d'une substance ou méthode interdite ;
- 2.8 : Administration ou tentative d'administration à un sportif en compétition d'une substance interdite ou d'une méthode interdite, ou administration ou tentative d'administration à un sportif hors compétition d'une substance interdite ou d'une méthode interdite dans le cadre de contrôles hors compétition ;
- 2.9 : Complicité ;
- 2.10 : Association interdite.

Ce passage à l'acte du dopage va alors améliorer les performances du sportif, pouvant également mettre sa santé en jeu. Ces usages de substances ou méthodes sont alors contraires à l'esprit sportif.

Nous allons présenter ces substances et méthodes interdites, expliquer leurs intérêts pour le sportif voulant tricher et ses risques pour sa santé.

2.2. CLASSEMENT DES PRODUITS DOPANTS

Il est important, pour tout sportif, voulant optimiser au mieux son entraînement par des apports exogènes, d'avoir un classement des substances et méthodes pouvant être interdites par l'AMA. Ces substances et méthodes ne sont pas interdites au seul titre quelles soient **contraires à l'éthique sportive** mais aussi et avant tout car elles représentent un réel **danger pour la santé** de l'utilisateur. Il en va alors du rôle de professionnel de santé, qu'est le pharmacien, de contribuer à la non-utilisation des produits de cette liste lors de conseils auprès de sportifs.

Ces produits sont classés en plusieurs catégories selon la *Liste des substances et méthodes interdites 2018* de l'AMA⁴⁸. Cette liste est mise à jour chaque année et présente les spécialités avec les dénominations commerciales et le principe actif dopant :

2.2.1. Substances (S) et méthodes (M) interdites en permanence (en et hors compétition)

2.2.1.1. S0 - Substances non approuvées

Toute substance pharmacologique non incluse dans une section de la liste des produits dopants et qui n'est actuellement approuvée pour une utilisation thérapeutique chez l'homme par une autorité gouvernementale réglementaire de la santé (*par exemple les médicaments en développement préclinique ou clinique ou qui ne sont plus disponibles, substances approuvées seulement pour usage vétérinaire*).

⁴⁸ <https://www.wada-ama.org/fr/node/8531>

2.2.1.2. S1 - Agents Anabolisants⁴⁹

Ces agents anabolisants regroupent trois catégories :

- Les stéroïdes anabolisants androgènes exogènes. Ils ne peuvent pas être produits naturellement par l'organisme humain.
- Les stéroïdes anabolisants androgènes endogènes. Ils peuvent être produits naturellement par l'organisme humain (*la testostérone par exemple*).
- Les autres agents anabolisants possédant donc des effets biologiques similaires.

Cette catégorie d'agents anabolisants regroupe des substances qui **augmentent la synthèse des protéines dans les cellules**. Leur utilisation médicale se fait pour pallier une sécrétion en deçà de la normale, ou pour traiter certaines pathologies (endométrioses, aplasie médullaire). Ces produits auront des propriétés virilisantes notamment le développement et l'entretien des caractéristiques masculines telles que la croissance des cordes vocales et la pilosité.

Son usage détourné dans le sport, dû à l'augmentation de la synthèse protéique dans les cellules (effet anabolisant), est celui de **développer la masse musculaire du sujet**. Nous aurons alors un développement de la force, de la puissance, de la vitesse et de l'endurance. Cela permettra au sportif d'être, bien entendu, **plus performant** lors d'épreuves mais aussi de **résister à la charge de travail lors d'entraînements**.

Les risques d'utiliser, or contexte thérapeutique, ces substances est d'apporter à l'organisme des quantités d'hormones mâles très supérieures à celles synthétisées normalement. Cette surdose provoque un déséquilibre profond de l'organisme et à des conséquences qui peuvent être particulièrement graves :

- Atrophie des testicules (dû à une hypoandrogénie acquise) ;
- Lésions de la prostate ;
- Stérilité et impuissance (pour les hommes) ;
- Troubles anxio dépressifs majeurs (attaques de panique, dépressions lourdes) ;
- Risque de cancer globalement accru, notamment au niveau du foie ;
- Pathologies vasculaires et cardiaques ;
- Inconvénients esthétiques (acné, accélération de la calvitie, développement de la pilosité) ;
- Troubles du comportement avec des états dynamiques et agressifs.

2.2.1.3. S2 - Hormones peptidiques, facteurs de croissance, substances apparentées et mimétiques⁵⁰

Cette classe va regrouper 3 substances, présentes naturellement dans le corps : **L'Erythropoïétine (EPO), les hormones gonadotropes et l'hormone de croissance (GH)**. Ces trois substances sont présentes naturellement dans le corps humain. Ainsi, la détection d'une supplémentation est difficile.

⁴⁹ <http://www.ecoutedopage.fr/pages/les-produits/les-substances-dopantes/s1-agents-anabolisants.html>

⁵⁰ <http://www.ecoutedopage.fr/pages/les-produits/les-substances-dopantes/s2-hormones-peptidiques-facteurs-de-croissance-et-substances-apparentees.html>

L'érythropoïétine (EPO) :

C'est une hormone de nature glycoprotéique sécrétée par le rein. Elle va stimuler la prolifération des cellules souches précurseurs des globules rouges au niveau de la moelle osseuse, et leur maturation.

En médecine, elle est utilisée lorsqu'une insuffisance rénale chronique entraîne une déficience de la production d'EPO, et donc, une anémie hypoplasique. Elle est aussi utilisée lors de maladies hématologiques, cancers, tumeurs, lymphomes ou myélomes multiples, perte de sang, programmes de transfusion autologue.

L'usage comme produit dopant de l'EPO est donc un usage détourné. En effet, on se sert de sa **capacité à augmenter le nombre de globules rouges (véhicule de l'oxygène dans l'organisme) pour augmenter l'apport en oxygène vers les muscles**. Nous aurons alors une augmentation de l'**endurance** des sportifs, de leurs **performances** et une diminution de la **sensation de fatigue**, en particulier par un **retard de l'acidose lactique**.

La quantité de globules rouges va donc augmenter, faisant passer l'hématocrite de 45% (valeur normale) jusqu'à 65%. Ainsi, en 1997, l'Union Cycliste Internationale a introduit les contrôles sanguins interdisant aux coureurs cyclistes d'avoir un hématocrite supérieur à 50%. Cette limite est alors contournée par certains cyclistes qui contrôlent régulièrement leur hématocrite, par injections précises d'EPO ou par des transfusions diluant le sang, stabilisant alors cette valeur à 49,9%... Il est également possible de détecter l'EPO de synthèse par test urinaire, cependant ce test est coûteux et nécessite 3 jours de travaux. Il n'est donc pas utilisé à grande échelle.

Le risque de cette supplémentation est celui de l'élévation du nombre de globules rouges dans le sang, provoquant une augmentation de la viscosité sanguine et donc du risque de formation de caillots sanguin, de thromboses et d'arrêts cardiaques.

Les hormones gonadotropes :

Ce sont des hormones glycoprotéiques agissant sur les fonctions des gonades (ovaires et testicules). Deux de ces hormones sont sécrétées chez tous les vertébrés par l'hypophyse antérieure : l'hormone folliculo-stimulante (FSH) et l'hormone lutéinisante (LH). Chez les mammifères il existe également une gonadotrophine chorionique (sécrétée par le placenta) : la gonadotrophine chorionique humaine (HCG) sécrétée dès le 8^{ème} jour de grossesse.

La FSH et la LH sont semblables dans les deux sexes. Elles sont sécrétées au moment de la puberté et vont agir sur la stimulation des gonades provoquant ainsi la production de testostérone chez l'homme et d'œstradiol chez la femme. La HCG est l'hormone détectée lors des tests de grossesses chez la femme.

Les utilisations médicales⁵¹, chez la femme, de ces hormones sont : le traitement de la stérilité provoquée par anovulation ou dysovulation, le déclenchement de l'ovulation dans le cadre des procréations médicalement assistées. Les utilisations médicales, chez l'homme, de ces hormones sont : le traitement de la stérilité en cas d'hypogonadisme, le traitement de la cryptorchidie en l'absence d'obstacle anatomique, et la mise en place d'un test à l'HCG pour l'exploration de la fonction Leydigienne du testicule.

⁵¹ https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/evamed/CT-13067_GONADOTROPHINE_CHORIONIQUE_ENDO_PIC_RI_Avis2_CT13067.pdf

L'utilisation de ces hormones gonadotrophines dans le dopage s'explique donc par leur caractéristique de **précurseur de testostérone** en stimulant la synthèse de celle-ci dans les gonades. On rappelle que la testostérone est une hormone anabolisante. On parle alors de **dopage indirect** à la testostérone puisque l'on apporte une certaine substance mais c'est le corps qui sécrète cette testostérone lui-même.

Les effets secondaires du dopage à la gonadotrophine sont :

- Gynécomastie : développement des seins chez l'homme ;
- Déchirures musculaires dues à la surcharge de travail poussée par la testostérone et le sportif ;
- Calvitie ;
- Tendinites ;
- Maux de tête et troubles du foie ;
- Cancers et troubles cardio-vasculaires ;
- Stérilité et impuissances ;
- Agressivité ;
- Dérèglements hormonaux.

L'hormone de croissance (HGH) :

Aussi appelée Somatotropine, c'est une hormone polypeptidique. Elle est sécrétée par les cellules somatotropes de la partie antérieure de l'hypophyse, et stimule la croissance des cellules et la reproduction des humains. Diverses pathologies sont liées à cette hormone : le nanisme en cas de déficit de sécrétion, ou encore le gigantisme et l'acromégalie en cas d'excès de sécrétion.

L'utilisation médicale se justifie alors pour lutter contre le nanisme mais aussi dans le syndrome de Turner (dysfonctionnement des ovaires causé par l'absence totale ou partielle de chromosome X chez la femme), dans le syndrome de Prader-Willi (maladie génétique se caractérisant par une diminution du tonus musculaire à la naissance), dans l'insuffisance rénale chronique, dans le déficit en gène SHOX (maladie génétique entraînant un raccourcissement de certains membres), et dans les retards de croissance intra-utérin ou chez l'enfant.

L'utilisation dans le dopage se fait car elle permettrait une **augmentation de la masse musculaire et une diminution de la masse grasse**. Cette hormone permettrait aussi une augmentation des performances⁵². Elle va ainsi provoquer une amélioration de la force et de la vitesse de contraction musculaire.

Les risques de l'utilisation comme produit dopant de cette hormone de croissance sont :

- Croissance anormale des organes ;
- Hypertrophie osseuse ;
- Déformations irréversibles des os plats ;
- Hypertension et insuffisance cardiaque ;

⁵² M.J. Rennie, Claims for the anabolic effects of growth hormone : a case of the emperor's new clothes, British Journal of Sports Medicine, 2003, 37, 100-105

- Diabète ;
- Maladie de Creutzfeldt Jacob due à une contamination, par des prions pathogènes, d'hormone de croissance obtenue par extraction d'hypophyse de cadavres bovins.

2.2.1.4. S3 - Bêta-2 agonistes

Ce sont des stimulants des récepteurs bêta du système nerveux sympathique de l'organisme. Ils vont provoquer une augmentation de la fréquence cardiaque et un relâchement des muscles bronchiques et utérins. Ils sont alors utilisés sur le plan médical dans le traitement curatif et préventif de l'asthme et le traitement du risque d'accouchement prématuré.

L'usage détourné pour le dopage sportif est alors utilisé pour **améliorer la fonction respiratoire, brûler les graisses, provoquer un bien être cardio respiratoire**, de plus, ils possèdent des **propriétés anabolisantes musculaires** (notamment le Clenbutérol) à des doses très supérieures aux doses thérapeutiques. Ainsi, tous les bêta-2 agonistes sont interdits, sauf :

- Le Salbutamol inhalé (maximum 1600 microgrammes par 24h);
- Le Formotérol inhalé (maximum 54 microgrammes par 24h) ;
- Le Salmétérol inhalé (maximum 200 microgrammes par 24h).

L'usage de ces molécules est alors autorisé, au maximum à ces dosages là, si le sportif possède une simple **déclaration d'usage**.

Les risques de l'utilisation excessive dans le cadre du dopage sont :

- Tremblements, sueurs, agitation ;
- Agressivité ;
- Ruptures tendineuses et déchirures musculaires ;
- Œdèmes pulmonaires, ischémies myocardiques, arythmies cardiaques.

2.2.1.5. S4 - Modulateurs hormonaux et métaboliques

Cette classe de produits dopants regroupe différentes hormones dont les effets et les risques sont variés.

Inhibiteurs de l'aromatase :

Ces modulateurs hormonaux vont inhiber la transformation de la testostérone (hormone sexuelle mâle) en œstrogène (hormone sexuelle féminine). Ainsi, ils sont utilisés, en médecine, dans le traitement du cancer du sein et du cancer de l'ovaire chez la femme ménopausée.

L'utilisation dans le dopage se fait donc dans le but **d'augmenter le taux de testostérone**. Ainsi, on retrouve les mêmes objectifs que ceux vus précédemment (augmentation de la masse musculaire, de la force, de la résistance à la fatigue).

On retrouve alors globalement les mêmes risques qu'avec une supplémentation en testostérone :

- Atrophie des testicules (due à une hypoandrogénie acquise) ;
- Lésions de la prostate ;
- Stérilité et impuissance (pour les hommes) ;
- Troubles anxio-dépressifs majeurs (attaques de panique, dépression lourdes) ;
- Inconvénients esthétiques (acné, accélération de la calvitie, développement de la pilosité) ;
- Troubles du comportement avec des états dynamique et agressif.
- Douleurs abdominales ;
- Etourdissement ;
- Douleurs articulaires.

Modulateurs sélectifs des récepteurs aux œstrogènes (SERM) :

Ces substances, comme leur nom l'indique, vont jouer sur les récepteurs aux œstrogènes. Ils produisent un effet œstrogénique dans certains tissus (os et vaisseaux sanguins) et un effet anti-œstrogénique dans d'autres tissus (sein et utérus). Ils sont alors utilisés pour lutter contre l'ostéoporose tout en limitant la survenue de cancer du sein et le l'utérus.

L'usage dans le dopage, tout comme les risques, est identique aux inhibiteurs de l'aromatase.

Autres substances anti-œstrogéniques :

Cela inclut :

- Le Clomifène : Agit comme antagoniste sur les récepteurs aux œstrogènes, supprimant alors l'effet de freinage des œstrogènes, provoquant une stimulation de sécrétion de FSH et LH. Cette molécule est utilisée dans le cas d'infertilité pour induire l'ovulation.
- Le Cyclofénil : Il agit également comme stimulant de l'ovulation et est donc indiqué également dans le cas d'infertilité pour induire l'ovulation.
- Le Fulvestrant : Il s'agit d'un antagoniste compétitif des récepteurs aux œstrogènes et bloque ainsi leurs actions trophiques. Cette molécule est indiquée dans la prise en charge du cancer du sein chez la femme ménopausée.

L'usage dans le dopage, tout comme les risques, sont identiques aux inhibiteurs de l'aromatase.

Agents modificateurs de la fonction de la myostatine :

Les inhibiteurs de la myostatine bloquent l'activité de la myostatine. La myostatine est un facteur de croissance limitateur du développement du tissu musculaire.

On comprend alors que l'utilisation dopante dans le milieu sportif se fera pour **augmenter le développement de la masse musculaire**. Cependant, à ce jour, aucun inhibiteur de la myostatine n'a été jugé « assez sûr » pour être commercialisé.

Modulateurs métaboliques : activateurs de la protéine kinase activée par l'AMP et agonistes du récepteur activé par les proliférateurs des péroxysomes δ (PPAR δ)⁵³ :

L'AICAR et le GW1516 sont des agonistes des PPAR δ . Ils ont une action directe sur la transcription d'une cinquantaine de gènes, notamment les gènes qui gouvernent la gestion énergétique (mitochondries, combustion lipidiques). L'AICAR est un activateur de l'AMP kinase ce qui lui permet d'optimiser l'utilisation des ressources en glucose et en lipides du corps, et donc d'améliorer la capacité d'endurance.

Les laboratoires qui s'intéressent à l'AICAR comme au GW 1516 n'ont pas dépassé le stade des essais cliniques en raison de la toxicité élevée de ces produits. L'AICAR entraîne des fièvres, des troubles de l'activité motrice et une baisse de l'immunité qui favorise les infections virales et bactériennes. De plus, l'accumulation de l'AICAR dans l'organisme est associée à des maladies génétiques rares conduisant à des retards mentaux, des cas d'épilepsie et des comportements autistiques. En ce qui concerne le GW 1516, ce produit, quelle que soit la dose, entraîne à court terme différentes tumeurs cancéreuses (foie, thyroïde, estomac,...) et parfois le décès des souris traitées.

L'insuline :

Il s'agit là aussi d'un modulateur métabolique. L'insuline est une hormone protéique sécrétée par les cellules β des îlots de Langerhans dans le pancréas. Elle va être sécrétée notamment lors d'un repas afin de pouvoir réguler la glycémie (hormone hypoglycémiant) et transformer le glucose en réserve glycogénique. Dans le médical, cette hormone est utilisée afin de délivrer de l'insuline aux personnes dont le corps possède un défaut de sécrétion d'insuline (diabétique de type I, insulino-dépendants).

L'utilisation dans le dopage peut paraître curieuse si on se focalise sur le côté hypoglycémiant. Cependant, cette hormone est utilisée (notamment chez les cyclistes et les culturistes) pour **augmenter le stock en glycogène musculaire** et ainsi avoir plus de réserves énergétiques rapidement disponibles durant l'effort. De plus, c'est une hormone très facile à se procurer et qui reste peu onéreuse.

Cette utilisation est cependant dangereuse chez une personne ne souffrant pas de diabète, car elle peut exposer à une hypoglycémie dont les conséquences peuvent être sévères (coma, voire la mort) et à long terme, elle peut provoquer un diabète de type 2.

2.2.1.6. S5 - Diurétiques et agents masquants

La classe des diurétiques et autres agents masquants regroupe les substances qui sont capables de perturber les analyses des échantillons d'urines lors des contrôles antidopage. Ils trouvent alors leur intérêt seulement lorsqu'ils sont associés à d'autres substances pour les cacher.

⁵³ <http://theconversation.com/anti-doping-agency-warns-cheats-on-the-health-risks-of-endurobol-12997>

Les diurétiques sont des substances qui entraînent une augmentation de l'excrétion rénale d'ions tels que le sodium, le potassium et de l'eau. Ils sont utilisés, en médecine, pour traiter l'hypertension, les œdèmes, l'insuffisance cardiaque en association avec d'autres produits.

Les agents masquants sont des produits qui vont **accélérer ou retarder l'élimination des substances**. Ils permettent donc aux dopés de modifier les résultats des analyses (modification du pourcentage de l'hématocrite chez les cyclistes par injection de mannitol). *Ils sont représentés par exemple par : la desmopressine, l'albumine, le mannitol.*

Les risques liés à l'utilisation de ces produits sont nombreux :

- Déshydratation ;
- Douleurs musculaires et crampes ;
- Hypotensions artérielles ;
- Insuffisances rénales ;
- Troubles du rythme cardiaque ;
- Hémorragies digestives.

2.2.1.7. M1 - Manipulation de sang ou de composants sanguins

On parle ici d'administration ou réintroduction de n'importe quelle quantité de sang autologue, allogénique (homologue) ou hétérologue ou de globules rouges de toute origine dans le système circulatoire d'un individu. L'objectif est l'amélioration artificielle de la consommation, du transport ou de la libération de l'oxygène vers le muscle dans le but d'augmenter l'endurance et d'améliorer les performances.

La transfusion sanguine comporte des risques immunologiques, infectieux et de choc transfusionnel. Des risques de surcharge transfusionnelle, par excès de volume du compartiment sanguin, sont très élevés dans les pratiques de dopage par transfusion sanguine. Tout comme l'hémochromatose, par surcharge en fer dans les transfusions répétées.

2.2.1.8. M2 – Manipulation chimique et physique

Les manipulations chimiques et physiques correspondent aux actions qui visent à altérer les échantillons recueillis lors du contrôle du dopage. Cela comprend la substitution ou l'altération de l'échantillon d'urine, la cathétérisation avec perfusions intraveineuses.

2.2.1.9. M3 - Dopage génétique

Le dopage génétique est un détournement de la thérapie génique, destinée à guérir des maladies en remplaçant un gène défaillant ou en modifiant l'expression d'un gène. Le dopage génétique peut consister par exemple, à remplacer les injections d'EPO par l'insertion dans l'organisme de gènes impliqués dans la production de l'EPO.

À l'heure actuelle, l'impact effectif du dopage génétique sur la performance est mal maîtrisé. Par ailleurs, le dopage génétique présente des risques mortels tant au niveau du

protocole d'introduction du gène que de l'impact du gène. *Par exemple, lors d'une expérimentation, on a constaté que l'introduction d'un gène stimulant la production d'EPO a entraîné une augmentation massive des globules rouges et le décès des animaux traités.*

2.2.2. Substances (S) et méthodes (M) interdites en compétition

2.2.2.1. S6 - Stimulants

La classe des stimulants regroupe des substances qui augmentent l'activité du système nerveux facilitant ou améliorant certaines fonctions de l'organisme. Les stimulants sont utilisés à but thérapeutique pour augmenter la vigilance. Nous allons alors avoir une **amélioration de la concentration, de l'attention, une augmentation de la confiance en soi et enfin une diminution de la sensation de fatigue.**

Cette catégorie comprend : les amphétamines, la cocaïne, les bêta-sympathomimétiques, les dérivés de l'éphédrine et tous les apparentés à ces molécules.

Les différents risques à utiliser ces substances sont :

- Hyperthermie (couplée à l'exercice physique et à la chaleur, l'hyperthermie peut être mortelle) ;
- Tremblements et perte de coordination ;
- Troubles anxieux ;
- Insensibilité à la fatigue et insomnies, entraînant épuisement physique, accident et blessures ;
- Troubles du rythme cardiaque ;
- Dépendance et accoutumance.

2.2.2.2. S7 - Narcotiques

La classe des narcotiques regroupe des substances chimiques capables d'induire un état proche du sommeil et d'inhiber la sensibilité. Cela comprend les opiacées et leurs dérivés ainsi que l'ensemble des analgésiques de synthèse.

Dans le domaine médical on les utilise pour leur capacité à induire un relâchement musculaire, une diminution de la sensibilité notamment à la douleur, et dans le sevrage des patients à la drogue (*méthadone pour l'héroïne*).

C'est dans cet aspect de **diminution du seuil de douleur** qu'ils seront utilisés dans le milieu sportif.

Les risques lors de l'utilisation de ces substances sont :

- Somnolence ;
- Léthargie ;
- Dépression respiratoire ;
- Perturbation urinaire ;
- Hypothermie ;
- Nausées et vomissements ;

- Troubles du rythme cardiaque ;
- Dépendance et accoutumance.

2.2.2.3. S8 - Cannabinoïdes

On parle ici de produits comme : le cannabis, le haschisch, la marijuana et les cannabimimétiques (synthétiques). Ces composants contiennent notamment une substance : le Delta-9-tétrahydrocannabinol (THC) ayant des actions myorelaxantes et antalgiques. De plus, il va permettre aux sportifs de **diminuer la sensation de stress et d'anxiété**, pouvant même provoquer une euphorie.

Le THC n'est éliminé que très lentement par l'organisme et le principal produit de dégradation du cannabis (le carboxy-THC, *THC-COOH*) se retrouve dans les urines plusieurs semaines après une prise. Un usage festif, même ponctuel, du cannabis peut donc entraîner un contrôle positif.

Les risques de consommer ces substances :

- Troubles de la mémoire ;
- Baisse de la vigilance, de la concentration, de la coordination et de l'appréciation des distances ;
- Perte des capacités d'apprentissage et de la motivation ;
- Accoutumance ;
- Problèmes vasculaires et pulmonaires.

2.2.2.4. S9 - Glucocorticoïdes

La classe des glucocorticoïdes regroupe des substances qui modifient le métabolisme glucidique, lipidique et protidique. Ces substances ont un effet anti-inflammatoire, antipyrétique et immunosuppresseur. On y retrouve la cortisone qui est naturellement sécrétée par les glandes surrénales. Elle agit sur la glycémie en l'augmentant, sur les graisses en provoquant un stockage de celles-ci, sur les protéines en provoquant une diminution de la masse musculaire. C'est également le plus puissant anti-inflammatoire utilisé qui, par conséquent, a un effet antalgique fort.

Il est interdit en compétition pour ces effets **anti-inflammatoire et antalgique** puisque cela va permettre de faire taire les douleurs de la fatigue musculaire et articulaire, et ainsi permettre d'augmenter la charge de travail. De plus, les corticoïdes sont connus pour leurs effets excitants, provoquant ainsi une diminution de la sensation de fatigue et une augmentation de la volonté.

Les risques de leur utilisation :

- Ostéoporose et augmentation du risque de fractures ;
- Retard de croissance chez l'enfant ;
- Fragilisation des tendons et des muscles (risque de rupture et de claquage) ;
- Diminution des défenses immunitaires ;
- Rétention hydrosodée et risque d'œdème ;
- Agressivité.

2.2.3. Substances interdites dans certains sports

2.2.3.1. P1 - Bêtabloquants

Les Bêtabloquants vont être interdits, en compétition seulement, dans certains sports tel que : sports automobile, billard, fléchettes, golf, ski, sports subaquatiques et les sports de tir.

Ces produits agissent par antagonisme compétitifs des catécholamines au niveau des récepteurs bêta adrénergiques, notamment au niveau cardiaque ainsi qu'au niveau des vaisseaux et des bronches. Il va alors y avoir une vasodilatation artérielle, une bronchodilatation, une relaxation utérine. De plus, ils vont également provoquer des effets inotrope, dromotrope, bathmotrope et chronotrope négatif.

Au niveau médical, on les utilise pour : l'angor d'effort, l'infarctus de myocarde, l'insuffisance cardiaque, les troubles du rythme cardiaque, l'hypertension, les migraines, les tremblements, les glaucomes.

Ils sont alors intéressants pour ces sports puisqu'ils vont **limiter les situations de stress et les tremblements**.

Les risques de les utiliser seront : des troubles du rythme cardiaque, une dépression psychique, l'impuissance sexuelle si utilisation répétée.

2.2.3.2. L'alcool, nouvelle réglementation

L'alcool ne figure plus sur la liste des substances interdites par l'Agence Mondiale Antidopage depuis janvier 2018. En effet, l'AMA communique en ce sens : « *Après un examen attentif et une consultation approfondie, l'alcool a été retiré de la Liste des interdictions. Le but de ce changement n'est pas de compromettre l'intégrité ou la sécurité des sports où l'alcool est une préoccupation, mais plutôt d'appuyer la mise en œuvre de différents moyens d'interdire la consommation d'alcool dans ces sports* ».

L'alcool (éthanol) était jusqu'ici interdit en période de compétition dans l'aéronautique, le sport automobile, la motonautique et le tir à l'arc. Le seuil de violation était de 0,10 gramme d'alcool par litre de sang.

Dans cette volonté d'atteinte d'objectifs, certains sportifs seront tentés par l'utilisation de produits dopants. Ceux-ci étant réputés comme apportant des résultats rapides, avec une efficacité maximale qui dépasse souvent les limites du corps humain lui-même.

Selon l'Agence Française de Lutte contre le Dopage (AFLD) et son rapport de 2016⁵⁴, le dopage est toujours bien présent dans le milieu professionnel. Le taux national moyen de rapports d'analyses anormales est en hausse, s'établissant à 1,9%. Les produits les plus utilisés sont alors : les agents anabolisants (19%), les stimulants (19%), les glucocorticoïdes (14%), les agents diurétiques et masquants (13%). On retrouve en tête des sports bien

⁵⁴ https://www.afld.fr/wp-content/uploads/2017/06/Afld_RA_BD_2205.pdf

connus de l'histoire du dopage : en premier l'athlétisme, suivi par l'haltérophilie et le cyclisme.

Dans ce monde professionnel, l'accès à ces produits dopants d'origine souvent pharmaceutique, se fait par des circuits alternatifs. Ces circuits permettent aux sportifs et à leur staff de se fournir en produits sans avoir recours au pharmacien d'officine. Le rôle du pharmacien d'officine, dans cette lutte contre le dopage, est donc plus focalisé sur le sportif amateur. La prise en charge de ces sportifs amateurs sera abordée dans la *Partie IV infra*.

Nous venons donc de voir dans cette *Partie III* l'intérêt des bases de nutrition avec les macronutriments, les micronutriments et l'hydratation. Nous avons donc identifié les besoins d'un sportif, celui-ci pouvant les trouver dans une alimentation équilibrée et variée. Ces apports par l'alimentation sont à adapter au type de pratique sportive, l'intensité et la durée de celle-ci. Cependant, lors de certaines périodes d'entraînements, de compétitions intenses ou encore de sports particuliers, l'organisme aura besoin d'un apport en certains nutriments spécifiques à ces phases ou à ces sports. C'est là qu'entre en jeu l'intérêt des compléments alimentaires dans le sport.

La supplémentation du sportif, dans le vue d'optimiser ses efforts, sa récupération ou de dépasser ses objectifs est représentée par un grand nombre de produits. Cette multiplication du nombre de produits est justifiée par une augmentation de la demande dans une société où le paraître et l'atteinte d'objectif est valorisée. Les sportifs, même amateurs, recherchent toujours mieux à des prix les plus juste possible (souvent les plus bas). Il existe alors un grand nombre de produits, avec les mêmes appellations, les mêmes promesses et à des prix souvent fluctuants.

Nous allons donc nous intéresser, dans la *Partie IV*, à ces différents produits qui promettent tous l'efficacité dans leur prise, en comparant leurs compositions, leurs prix et leurs points de vente (pharmacie, internet ou grande surface). Nous verrons également comment le sportif intégrera ces compléments en fonction de ses objectifs et les normes qui régissent ces produits. Nous verrons enfin, comment et pourquoi le pharmacien d'officine doit se positionner lorsqu'un sportif utilise des produits ou méthodes illicites, ou encore lorsqu'il présente des troubles du comportement alimentaire.

PARTIE IV

LE SPORTIF FACE

AUX

COMPLÉMENTS

ALIMENTAIRES

Nous venons donc de voir dans la *Partie II* l'intérêt des bases de nutrition avec les macronutriments, les micronutriments et l'hydratation. Nous avons donc identifié les besoins d'un sportif, celui-ci pouvant les trouver dans une alimentation équilibrée et variée.

Dans la *Partie III*, nous avons vu que ces apports par l'alimentation sont à adapter au type de pratique sportive, l'intensité et la durée de celle-ci. Cependant, lors de certaines périodes d'entraînements, de compétitions intenses ou encore de sports particuliers, l'organisme aura besoin d'un apport en certains nutriments spécifiques à ces phases ou à ces sports. C'est là qu'entre en jeu l'intérêt des compléments alimentaires dans le sport.

Il existe, comme nous avons pu le voir dans la *Partie III*, un grand nombre de compléments alimentaires. Ces produits répondent à des attentes de la part des sportifs : améliorer sa performance, améliorer sa récupération, améliorer sa prise de masse musculaire, etc.

Le sportif amateur découvrira qu'il existe également un grand nombre de marques produisant ces compléments alimentaires. Il retrouvera ces marques dans divers lieux : pharmacie, grande surface, boutique spécialisée, ou sur internet.

Face à ces multiples points de vente le pharmacien peut tirer son épingle du jeu. Pour cela, il est important qu'il connaisse ces produits, afin de mieux les conseiller, et qu'il sache quel produit est le mieux adapté aux activités et à la demande du client.

Nous allons donc, dans cette *Partie IV*, comparer les marques correspondantes aux compléments alimentaires développés précédemment. Nous nous intéresserons aux marques les plus rencontrées par un sportif amateur ou un individu lambda en pharmacie, grande surface ou sur internet. Ce comparatif se fera sur la qualité des produits et sur le prix de ceux-ci. Nous verrons également comment les incorporer dans divers programmes sportifs afin de mieux les conseiller. Enfin, nous verrons comment le pharmacien d'officine doit se positionner face à des abus de produits ou des dérives liées à l'alimentation.

1. COMPARATIF DES MARQUES DE COMPLÉMENTS ALIMENTAIRES RENCONTRÉES PAR LE SPORTIF AMATEUR

Nous allons donc répertorier les différentes gammes et les différents produits correspondants à ces compléments alimentaires disponibles en pharmacie, en grande surface, en magasin spécialisé, sur internet.

Nous pouvons dans un premier temps regarder les marques les plus présentes sur le net suite à une recherche basique avec les mots clefs des produits (*boisson de réhydratation, gel énergétique...*). Le choix des marques se fait donc à la fois sur leur notoriété et sur leur style de point de vente (pharmacie, grande surface, internet). Nous allons les référencer dans un tableau en relevant leurs points forts et leurs points faibles majeurs et en inscrivant leurs prix.

L'ensemble des données inscrites sont relevées à partir des informations obligatoires fournies par les marques sur les valeurs nutritionnelles des produits. Ainsi, les images et les informations sur la composition et le prix sont directement relevées des sites internet des marques elles mêmes.

Nous nous intéressons donc aux marques les plus répandues dans ces différents points de vente :

- **Eafit**[®], marque la plus répandue en pharmacie sur la nutrition sportive ;
- **Overstim's**[®], **Isostar**[®], **Aptonia**[®] marques présentes dans les grandes surfaces et magasins de sport pour grand public;
- **Myprotein**[®], marque présente sur le net exclusivement mais possédant une forte notoriété dans le milieu sportif.

1.1. COMPARATIF DES BOISSONS DE RÉHYDRATATION

Les boissons de réhydratation vont donc avoir plusieurs bénéfices : elles vont lutter contre la **diminution du volume sanguin**, elles permettent de contrer l'élévation de la **température corporelle**, elles apportent des **substrats énergétiques** aux muscles, elles **retardent l'apparition de la fatigue**.

Nous avons vu précédemment que le sportif a tendance à ne pas s'hydrater de manière optimale en attendant souvent la sensation de soif. Ainsi, les fabricants de ces boissons réhydratantes donnent un goût agréable à leurs produits, gout sucré, afin d'accroître les quantités bues volontairement pendant l'effort par rapport à de l'eau naturelle qui, à la fin de l'entraînement, devient insipide.

Nous allons donc comparer des boissons dites **énergétiques** : boissons à utiliser **pendant les efforts**, en fonction de la durée et l'intensité de celui-ci. Ces boissons doivent contenir :

- Des glucides (entre 40-60g/L) avec un ratio sucres/glucides inférieur à 50% afin d'avoir une qualité et un panel plus large des différents glucides apportés (glucides complexes, glucides simples...);
- Du sodium (0,6g/L);
- Du potassium (0,4g/L);
- Du magnésium;
- Des vitamines du groupe B;
- Des antioxydants (vitamines C, E, zinc);
- Des BCAA, essentiels pour les raisons vues précédemment.

Nous allons également comparer quelques boissons de **récupération** : Rappelons qu'une bonne boisson de récupération doit comporter :

- Des glucides (40g/L) pour la resynthèse du glycogène;
- Des protéines, primordiales pour le maintien de la masse musculaire lésée pendant l'effort (20g/l);
- Du sodium (0,4 g/L);
- Du potassium (0,6g/L);
- Des vitamines du groupe B;
- Des minéraux, perdus pendant l'effort.

1.1.1. Les boissons énergétiques

Nous allons alors répertorier les différents produits correspondant aux marques citées ci-dessus.

BOISSONS		AVIS	PRIX
<p>Tricarb (Myprotein®)</p> 	<p>Un taux de sodium cependant correct de 0,6g/L</p> <p>Une qualité des sucres à revoir (75%), des BCAA absents, pas de vitamines du groupe B et d'antioxydants, un taux de magnésium et potassium faible.</p>	<p>13,99€ les 800g</p> <p>soit 17,49€ le kg</p>	
<p>Hydrixir antioxydant (Overstim's®)</p> 	<p>Bien dosée en glucides (ratio de sucres est à 54%) et en antioxydants.</p> <p>Le sodium est un peu léger (0,4g/l) et le potassium trop faible, BCAA et magnésium sont absents.</p>	<p>19,90€ les 600g</p> <p>soit 33€ le kg</p>	
<p>Hydrixir longue distance (Overstim's®)</p> 	<p>Bien dosée en glucides, ratio de sucres à 43%, présence de vitamines du groupe B, de magnésium et d'antioxydants, présence de BCAA.</p> <p>Sodium est léger et potassium absent comme la formule ci-dessus.</p>	<p>22,90€ les 600g</p> <p>soit 38€ le kg</p>	

<p>Boisson énergétique -3h (Eafit®)</p>		<p>Bien dosée en glucides avec un ratio de sucres inférieur à 50% (43), bien dosée également en sodium (0,68g/L), en magnésium, présence de vitamines du groupe B, de vitamine C et de sélénium.</p> <p>Absence cependant de potassium et de BCAA.</p>	<p>13,50€ les 500g soit 27€ le kg</p>
<p>Boisson énergétique +3h (Eafit®)</p>		<p>Bien dosée en glucides avec un ration à 10% afin de répondre aux efforts de longue durée (plus de 3h), bien dosée en sodium, magnésium, vitamines du groupe B et vitamine C.</p> <p>Cependant, là aussi absence de potassium et de BCAA.</p>	<p>10,60€ les 500g soit 21,20€ le kg</p>
<p>Hydrate et perform (Isostar®) marque présente en grande surface</p>		<p>Bien dosée en sodium (0,6g/L), en magnésium et en glucides...</p> <p>Mais un ratio de sucres à 80%..., teneur très faible en vitamines du groupe B, absence de potassium, d'antioxydant et de BCAA</p>	<p>8,95€ les 400g soit 22,36€ le kg</p>
<p>Sport pro (Isoxan®)</p>		<p>Bien dosée en sodium et vitamines du groupe B.</p> <p>Les antioxydants et magnésium sont trop légers, il manque de glucides aussi (34g/L) et le ratio de sucres est mauvais (88%), absence de potassium et BCAA</p>	<p>8€ les 480g soit 16,66€ le kg</p>

Tableau XXXIV : Comparatif de boissons énergétiques en fonction des qualités (vert), des défauts (rouge) et du prix^{55, 56, 57, 58, 59, 60, 61}

Cette analyse des produits vendus majoritairement permet de souligner l'absence de BCAA dans la majorité des boissons énergétiques, excepté pour **Hydrixir longue distance (Overstim's®)** qui sort du lot à ce sujet. Malgré l'absence de BCAA et de potassium dans leur formule, les produits de chez *Eafit®* proposent une composition de qualité adaptée à la différence de durée d'effort (plus ou moins 3h). Le produit de chez *Myprotein®*, marque ayant pourtant une petite notoriété dans le milieu de la musculation, est décevant. Une grosse déception qualitative pour le **Sport pro (Isoxan®)**, produit que l'on trouve en pharmacie, proposé à un prix plus qu'abordable. **L'Hydrate et perform (Isostar®)**, que l'on retrouve en grande surface et dans les grandes enseignes de magasins de sport, est également de mauvaise qualité et beaucoup trop sucré.

⁵⁵ <https://fr.myprotein.com/nutrition-sportive/tri-carb>

⁵⁶ <https://www.overstims.com/HYDRIXIR-ANTIOXYDANT-boisson-energetique>

⁵⁷ <https://www.overstims.com/HYDRIXIR-LONGUE-DISTANCE-boisson-energetique>

⁵⁸ <https://www.eafit.com/catalog/product/view/id/185/s/boisson-energetique-3h-the-peche/category/28/>

⁵⁹ <https://www.eafit.com/catalog/product/view/id/173/s/boisson-energetique-3h-citron/category/28/>

⁶⁰ <https://www.isostar.fr/poudres-hydrate-perform-orange-400g.html>

⁶¹ <https://isoxansport.com/complement-alimentaire/sport-pro-boisson-energetique>

1.1.2. Les boissons de récupération

Faisons le même cheminement pour les boissons de récupération (post effort).

BOISSONS		AVIS	PRIX
Post Effort (Eafit®)		Très bon produit. Bien dosé en glucides (51g/L), en protéines (22g/L), en sodium (0,48g/L), en potassium (0,6g/L), en magnésium, en calcium, présence de vitamines du groupe B et d'antioxydants.	16,90€ les 500g Soit 33,80€ le Kg
Boisson de récupération (Overstim's®)		Bien dosée en protéines (20g/L), en glucides (48g/L), en magnésium et en calcium. Seulement une vitamine du groupe B (B1), un peu élevé en sodium, absence d'antioxydants.	19,90€ les 400g Soit 49,75€ le Kg
After Reload Drink (Isostar®)		Très bien dosé en protéines (40g/L), en glucides (140g/L), magnésium, calcium, vitamine du groupe B, antioxydants. Un peu légère en sodium et absence de potassium.	11,95€ les 450g Soit 26,55€ le Kg
Recoverfuel (Myprotein®)		Bon dosage en glucides (60g/L), en protéines (48g/L), en vitamines du groupe B, vitamines E et C antioxydantes, en magnésium, zinc. Formule très complète. Pas de potassium.	20,99€ le Kg

Tableau XXXV : Comparatif de boissons de récupération en fonction des qualités (vert), des défauts (rouge) et du prix^{62, 63, 64, 65}

Encore une fois, le produit de chez Eafit® sort du lot avec une composition qualitative et quantitative recherchée. L'association d'une bonne quantité protéique, glucidique, vitaminique et en antioxydants en fait une boisson parfaite pour la récupération de l'organisme après les dommages causés par une activité physique modérée à intense.

La **Boisson de récupération** (Overstim's®) est décevante sur le plan vitaminique et antioxydants. Les deux autres produits **After Reload Drink** (Isostar®) et **Recoverfuel** (Myprotein®) sont corrects, avec une bonne surprise pour Isostar® qui propose, pour une gamme de grande surface, un produit intéressant sur le rapport qualité/prix.

⁶² <https://www.eafit.com/la-boisson-eafit-post-effort.html>

⁶³ <https://www.overstims.com/BOISSON-DE-RECUPERATION-boite>

⁶⁴ <https://www.isostar.fr/fr-After-Sport-Reload-Drink.html>

⁶⁵ <https://fr.myprotein.com/nutrition-sportive/boisson-de-recuperation-recoverfuel/>

1.2. COMPARATIF DES BARRES ET GELS ÉNERGÉTIQUES

Les barres énergétiques, comme vu précédemment dans la *Partie III (sous-partie 1.2.2.)*, sont donc **riches en glucides et en calories**. Elles permettent d'apporter de l'énergie avant, pendant ou après les efforts avec une **utilisation pratique** (pas besoins de reconstituer une solution). Elles peuvent aussi être utilisées comme en-cas car elles contiennent moins de sucres et plus de protéines que des barres confiseries. Il est alors conseillé, par barre, d'apporter :

- 20g de glucides, avec ici aussi un ratio sucres/glucides qui doit être inférieur à 50% afin de garantir une qualité et une diversité des glucides apportés ;
- Des BCAA. Pour ces produits d'effort, l'apport en BCAA est essentiel comme vu précédemment, cet apport devrait être d'environ 0,5g par barre ;
- Du sodium et du potassium, il est conseillé d'en apporter chacun 50mg par barre ;
- Du magnésium (la réglementation européenne allègue à 56mg) ;
- Des vitamines du groupe B et des antioxydants, essentiels pendant et après l'effort physique bien sur (pour avoir un ordre d'idée : l'apport devrait être à 50% des AJR).

Les gels énergétiques sont disponibles en petites pochettes ou petites doses liquides à boire. Composés en majorité de glucides (sucres) et d'électrolytes, leur but est d'apporter des calories facilement assimilables et utilisables par l'organisme pour le « pendant » de l'effort. Par gel, il faut alors apporter :

- Des glucides à une hauteur d'au moins 20g par gel ;
- Encore une fois des BCAA présents à une hauteur de 0,5g par gel ;
- Du sodium et du potassium doivent être présents à 50mg par dose ;
- Du magnésium, on retrouve la même recommandation avec 56 mg par gel ;
- Des antioxydants et des vitamines du groupe B à la même dose conseillée que dans les barres.

1.2.1. Les barres énergétiques

BARRE		AVIS (dosages donnés en g/barre)	PRIX
Ultra fruits bars (Aptonia®)		Bien dosée en glucides (26g), en potassium (300mg), magnésium (56mg) et en vitamine C (12mg). Un ratio sucres/glucides un peu élevé (73%), présence de vitamine du groupe B trop légère, faible teneur en sodium (12mg) et absence de BCAA.	4,50€ les 5 barres de 40g Soit 22,50€ le Kg
High energy (Isostar®)		Bien dosée en glucides (29g) avec un ratio sucres/glucides correct (48%), bon taux de sodium (90mg), présence de vitamines du groupe B et d'antioxydants (vitamines C et E). Absence de potassium, de magnésium et de BCAA.	4,00€ les 3 barres de 40g Soit 33,33€ le Kg
Barre énergétique (Eafit®)		Bien dosée en glucides (21,3g), en sodium (300mg) et en magnésium (56mg), présence de vitamine C (50% des AJR) et de sélénium (50% des AJR), présence de guarana et de caféine. Un ratio sucres/glucide élevé (69%), un taux de sodium faible (16mg), une seule vitamine du groupe B (B1) faiblement dosée, absence de BCAA.	32,00€ les 24 barres de 30g Soit 44,44€ le Kg
Authentic bar (Overstim's®)		Bien dosée en glucides (33g) et en sodium (268mg), un dosage en protéines bon à 10mg. Un ratio sucres/glucide trop élevé à 62%, Juste une vitamine (B1) à un dosage un peu juste, les autres en sont absentes, pas d'antioxydant, pas de potassium, pas de BCAA.	13,80€ les 6 barres de 65g Soit 35,44€ le Kg

Tableau XXXVI : Comparatif des barres énergétiques en fonction des qualités (vert), des défauts (rouge) et du prix^{66, 67, 68, 69}

Le produit le plus intéressant est donc **High energy (Isostar®)**, une gamme de grande surface... Avec un rapport qualité/prix très intéressant. Cependant, il est important de remarquer l'absence de BCAA et encore plus, de protéines, dans la plupart des produits. Le seul à en proposer à une hauteur de 10g par barre, donc un bon dosage, est **Authentic bar (Overstim's®)**. On déplore donc l'absence de BCAA en outre et dans chaque gamme au moins 3-4 ingrédients essentiels absents...

Au vu de ces données, il peut alors être conseillé au sportif de se créer sa propre barre énergétique (des constituants facile à trouver dans certains aliments : glucides,

⁶⁶ https://www.decathlon.fr/barre-energetique-fr-rgs-5x40g-id_8321521.html

⁶⁷ <https://www.isostar.fr/barres-high-energy-multifruits-3x40g.html>

⁶⁸ <https://www.eafit.com/barre-energetique-fruits-du-verger-x-24.html>

⁶⁹ <https://www.overstims.com/AUTHENTIC-BAR-Boite>

protéines, magnésium, vitamines...) et une texture facile à créer (barre sèche). *On peut par exemple associer des amandes, noix (oméga 6, vitamines B), des fruits secs type dates, figues ou raisin sec (glucides, protéines, vitamines du groupe B et antioxydants), du sel (sodium)...* Evitant de surcroit des éventuels colorants, exhausteurs de goûts... Et permettant de faire des économies financières.

1.2.2. Les gels énergétiques

GELS		AVIS (dosage donnés en g/gel-dose)	PRIX
Ultra gel 700 (Aptonia®)		Bien dosé en glucides (24g) avec un ratio sucres/glucides très bon (37,5%), bien dosé en sodium (52mg), présence de vitamines du groupe B et d'antioxydants (Vitamine E et zinc). Présence de BCAA trop léger (0.24g), absence de potassium et magnésium.	4,99€ les 4 gels de 32g Soit 38,98€ le Kg
Gel energy (Isostar®)		Bien dosé en glucides (28g) et en vitamine C (16mg). Un ratio sucres/glucides élevé (68%), Seulement une vitamine du groupe B (B1) à un dosage faible, de sodium, de potassium, de magnésium, absence aussi de BCAA.	5,00€ les 4 sachets de 35g Soit 35,71€ le kg
Finisher (Eafit®)		Bien dosé en magnésium (56mg), présence de plusieurs vitamines du groupe B (B1, B3, B8, B12), présence d'antioxydants (vitamine C et zinc) à des bons dosages, présence d'extraits de plantes énergisantes (gingembre, kola, éleuthérocoque, maté, guarana). Un dosage en glucides un peu faible (18,6g) avec un ratio sucres/glucides élevé (79%), absence de BCAA, absence de sodium et de potassium.	19,90€ les 10 doses de 25g Soit 79,60€ le Kg
Gel antioxydant (Overstim's®)		Bien dosé en glucides (20g) avec un ratio sucre/glucides intéressant (46,70%), bien dosé en Vitamines du groupe B. Trop léger en sodium (13mg), en magnésium (16,2mg), absence de potassium, Un taux d'antioxydants très décevant (pas de vitamine C et seulement 0,5mg de vitamine E), absence de BCAA.	22,00€ les 10 tubes de 27g Soit 81,48€ le Kg

Tableau XXXVII : Comparatif des gels énergétiques en fonction des qualités (vert), des défauts (rouge) et du prix^{70, 71, 72, 73}

⁷⁰ <https://www.decathlon.fr/ultra-gel-700-cola-4x32g-id>

Le gel **Finisher** (Eafit®) s'en sort bien avec une bonne composition en antioxydants, vitamines et ses extraits de plantes. Il met l'accent sur un gros problème du panel : l'absence pour beaucoup de sodium et de potassium. Le **Gel antioxydant** (Overstim's®) est très décevant avec un nom du produit nous promettant un effet antioxydant, c'est en réalité celui en possédant le moins... Avec le prix le plus haut du panel. Pour les produits de grande surface, encore une fois, un prix défiant toute concurrence. Et pour l'**Ultra gel 700** (Aptonia®) un produit qui est même de très bonne qualité, avec un dosage en BCAA faible mais présent. Il s'agit du meilleur produit rapport qualité/prix.

Cela dit, ce sont des gels énergétiques conçus afin d'apporter certains nutriments en complément d'une hydratation, comme vu précédemment, qui, pour ces sportifs (plutôt d'endurance) doit être enrichi en sodium, potassium. Ainsi, si on prend en compte cet aspect de réalité, le gel de chez Eafit® est le plus complet. Cependant, l'absence pour tous de BCAA, ou la présence à des dosages bas, n'est pas optimale.

1.3. COMPARATIF DES WHEY PROTÉINES

La Whey est donc un type de protéine en poudre issue d'une partie du lait appelée lactosérum. Très riche en protéines et appauvrie en sucres, graisses et lactose, elle est utilisée par les sportifs souhaitant développer leur masse maigre. C'est une protéine dite à assimilation rapide qui permet de faciliter la récupération et la régénération musculaire. La diffusion importante et rapide d'acides aminés aux muscles active l'anabolisme qui permet de stimuler la reconstruction musculaire et aide le corps à construire plus de fibres. Ainsi, il sera conseillé aux sportifs de prendre ces protéines entre 30 minutes et 1 heure après leur entraînement, dans « la fenêtre anabolique », qui est le moment où les cellules musculaires seront les plus aptes à recevoir des protéines pour se construire.

La Whey se présente sous plusieurs formes, comme vu *supra* dans la *Partie III, sous-partie 1.2.3*, en fonction de la qualité et de la vitesse d'assimilation. Nous trouverons alors dans un ordre croissant : le concentré, l'isolat et l'hydrolysate. Un complément whey de qualité est donc un complément :

- Dont les **protéines sont issus du lait** (et non du fromage). La différence d'information sur la composition nutritionnelle de ces produits est très minime et tend à tromper le consommateur à ce sujet... Lorsqu'une protéine est issue du lait il est spécifié « *de lait* », lorsqu'elle provient de l'industrie du fromage il est spécifié « *protéine de petit lait* », « *de lactosérum* », « *issu du lait* » ;
- Où la **première source de protéines** mentionnée dans la composition du produit **doit être l'isolat de protéine de lactosérum** afin d'avoir un produit plus pur et de qualité ;
- Où il n'y a **pas d'acide aminé « supplémentaire »** dans la composition du produit. Cette supplémentation en acide aminé s'appelle « *l'Amino spiking* », cela consiste à ajouter des acides aminés dans la composition de la whey afin de faire gonfler la quantité de protéines par dose de whey. En effet, dans l'étiquetage de la composition nutritionnelle, la quantité de protéines est basée sur la teneur totale en azote et donc l'ajout d'acides aminés va faire monter ce taux de protéines de manière « artificielle » pour un plus faible coût.

⁷¹ <https://www.isostar.fr/fr-fr/gels-energy-citron.html>

⁷² <https://www.eafit.com/dosettes-finisher-fruits-rouges-x-10-eafit.html>

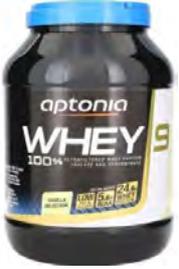
⁷³ <https://www.overstims.com/GEL-ANTIOXYDANT-gel-energetique-boite>

Cette teneur en protéines écrite sur l'étiquetage est très souvent la première information qu'un sportif va regarder. Les acides aminés ajoutés sont souvent les moins « intéressants », c'est-à-dire des non essentiels comme la glycine ou même la taurine, or nous avons vu précédemment que la whey protéine était riche en BCAA (25% des protéines), donc diminuer la part de véritable whey au profit d'acides aminés peu intéressants priverait le consommateur d'ingrédients vraiment essentiels pour la reconstruction musculaire.

- De plus, un complément protéique visant à être utilisé après une séance de sport doit comporter au minimum **5 à 10g de BCAA par dose**. Nous devons également retrouver des **vitamines du groupe B, des antioxydants ainsi que des minéraux** afin de répondre à la surconsommation de ceux-ci durant l'effort et la récupération.

Nous comparerons alors les whey protéines car il s'agit de la classe des poudres de protéines les plus connues par le sportif amateur.

WHEY PROTEINE		AVIS	PRIX
<p>Pure Whey (Eafit®)</p> 	<p>La première source de protéine est l'isolat de protéine de lactosérum mais seulement à 46,6% des protéines puisque 46,35% du reste des protéines est représenté par le concentré de protéines de lactosérum. Pour une teneur totale en protéines de 80%. Faible taux de glucides (5%) et de lipides (3,7%). Bon taux de BCAA également (23,72%). Bonne teneur en vitamines du groupe B, vitamines C et E antioxydantes. Bonne teneur aussi en magnésium et en fer.</p> <p>Cependant il s'agit d'une whey fromagère (« de lactosérum ») donc fabriqué avec les déchets de l'industrie du fromage.</p>	<p>39,87€ le Kg</p>	
<p>Pure Isolate Premium (Eafit®)</p> 	<p>Qualité supérieure à la Pure Whey avec 86,67% des protéines d'isolat de Whey. De plus, un enrichissement en acides aminés dont la teneur est le point faible des Whey protéines (Arginine, Glutamine, Créatine) donc enrichissement intéressant puisque ce sont des acides aminés très importants dans la récupération. Nous avons donc une teneur totale en protéines de 79%. Une teneur en glucides revue à la baisse (2,5%) et en lipides également (1,1%). Taux de BCAA correct à 22,9%. Bonne teneur en calcium, phosphore, magnésium et fer.</p> <p>Les vitamines du groupe B, et vitamines antioxydantes ont cependant disparues de la composition, et de plus il s'agit là aussi d'une whey fromagère.</p>	<p>51,87€ le Kg</p>	

<p>Renforcement musculaire (Overstim's®)</p>		<p>Bonne teneur en protéines (80%), en phosphore et calcium. Présence de caséinate de calcium donc une whey qui a la capacité d'apporter des protéines de manière retardée en plus de l'immédiat des protéines de lactosérum.</p> <p>Il s'agit bien ici de protéines de lactosérum donc c'est une whey fromagère et ce n'est pas un Isolat. Un taux de lipides un peu haut (5%) et de glucides (9%) avec un enrichissement en maltodextrine. Il n'y a pas de vitamines ni d'antioxydants. Faible taux de magnésium (16% des valeurs nutritionnelles de références). Un taux de BCAA un peu bas à 18,8g ce qui fait du 3-4g par shaker.</p> <p>De plus, le conseil d'utilisation est « 6 mesures rases dans 600ml d'eau » et « boire la moitié avant et la moitié après l'entraînement ». Le nombre de mesures est énorme quand normalement l'utilisation est de 1 à 2 mesures... Ainsi par cette augmentation des mesures ils se rattrapent sur leur faible concentration. Il n'est de plus pas conseillé de préparer ses shakers en avance, le mélange tournant assez facilement</p>	<p>66.6€ le Kg</p>
<p>Whey protein (Isostar®)</p>		<p>Un bon taux de BCAA à 22% soit 6,6g par shaker.</p> <p>98% des protéines sont des protéines de lactosérum, il s'agit donc d'une whey fromagère qui n'est pas un isolat. Nous avons une teneur en protéines un peu basse à 74%. On retrouve de l'aspartame en édulcorant. Un taux de lipides haut (6%).</p>	<p>47,36€ le Kg</p>
<p>Proteine whey (Aptonia®)</p>		<p>Isolat et concentrât de protéines de lactosérum. Une bonne teneur en protéines avec 83%. Un taux de BCAA correct à 5,6g par shaker. Faible taux de lipides (2,4%) et de glucides (3%).</p> <p>Nous n'avons pas la proportion de l'isolat par rapport au concentré de protéines. Il s'agit là aussi d'une whey fromagère. Absence de vitamine et d'antioxydant.</p>	<p>25€ le Kg</p>
<p>Impact whey protein (Myprotein®)</p>		<p>Très bonne teneur en protéines avec 82% du produit. Faible taux de glucides à 4%.</p> <p>Il ne s'agit pas d'un isolat de whey mais d'un concentré de whey (96% des protéines). Cette whey est fromagère bien qu'on nous indique « Issue de lait de vaches de pâturages ». Un taux de lipides un peu haut à 7,5%. Un taux de BCAA légèrement bas à 4,5g par shaker. Absence de vitamine et d'antioxydant.</p>	<p>17,99€ le Kg</p>

<p>Impact whey isolate (Myprotein®)</p>		<p>Il s'agit ici d'un isolat de protéine de whey (96% des protéines) avec une très forte teneur en protéine à 90%. Très faible taux de lipide (0,3%) et de glucides (2,5%).</p> <p>Il s'agit d'une whey fromagère. Nous n'avons pas d'information sur le taux de BCAA. Absence de vitamines et d'antioxydants.</p>	<p>27,99€ le Kg</p>
<p>Impact native whey 95 (Myprotein®)</p>		<p>Il s'agit d'un isolat (à 92%) de protéines native whey, c'est-à-dire une whey laitière. Très bonne teneur en protéines pour 92%, faible taux de lipides (0,4%) et de glucides (3%).</p> <p>Nous n'avons cependant pas la teneur en BCAA mais il s'agit d'un isolat de whey laitière donc le taux de BCAA doit avoisiner les 25% des protéines totales. Absence de vitamine et d'antioxydant.</p>	<p>30,99€ le Kg</p>

Tableau XXXVIII : Comparatif des whey en fonction des qualités (vert), des défauts (rouge) et du prix^{74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81}

Nous remarquons alors que la différence de notation entre l'étiquette d'une whey laitière et celle d'une whey fromagère est minime. Par exemple avec *Eafit*[®] : la mention « protéines de lactosérum (lait) » correspond à une whey fromagère, et « concentrât de protéines de lait » correspond à une whey laitière. Le fait que « Lait » soit mis entre parenthèse signifie en réalité que c'est issu du lait, c'est-à-dire qu'il s'agit d'un produit laitier. Les industriels utilisent ainsi l'obligation de mentionner les allergènes pour faire apparaître en gras à coté de protéines de lactosérum : « **(Lait)** ». Or cela signifie donc juste que c'est issu du lait ! Mais en rien que c'est une whey laitière.

Autre exemple, pour Myprotein[®] avec l'**Impact whey protein** : « Notre Bestseller ! Elle est produite à base de lactosérum de qualité supérieure provenant des plus grandes productions d'Europe »⁸². Il s'agit donc d'une whey fromagère, dans le listing des ingrédients voilà ce qu'on retrouve : « Concentré de Protéines de Whey (Lait) (96%), Émulsifiant (Lécithine de Soja), Arômes, Colorant (E160a), Édulcorant (Sucralose) »⁸³.

Pour son **Impact native whey 95** : « Issu directement du lait »⁸² nous retrouvons donc dans le listing des ingrédients : Isolat de Protéine Native Whey (Lait) (87%), Lactase, Emulsifiant (Lécithine de soja), Cacao en Poudre, Arôme, Edulcorant (Sucralose). La spécification « native » ou « bionative » des whey montre une whey laitière.

⁷⁴ <https://www.eafit.com/catalog/product/view/id/165/s/eafit-pure-whey-fruits-rouges-750gr/category/11/>

⁷⁵ <https://www.eafit.com/catalog/product/view/id/104/s/eafit-pure-isolate-premium-orange-750g/category/11/>

⁷⁶ <https://www.overstims.com/Renforcement-musculaire-pot>

⁷⁷ <https://www.fitnessdigital.fr/isostar-whey-protein-570g/p/10012556/?ct=31>

⁷⁸ https://www.decathlon.fr/proteine-whey-9-vanille-18kg-id_8337047.html

⁷⁹ <https://fr.myprotein.com/nutrition-sportive/impact-whey-protein/10530943.html>

⁸⁰ <https://fr.myprotein.com/nutrition-sportive/impact-whey-isolate/10530911.html?rctxt=pri>

⁸¹ <https://fr.myprotein.com/nutrition-sportive/impact-native-whey-95/10615598.html>

⁸² <https://fr.myprotein.com/thezone/complements-alimentaires/en-savoir-plus-sur-les-differentes-wheys-myprotein/>

⁸³ <https://fr.myprotein.com/nutrition-sportive/impact-whey-protein/10530943.html>

Nous pouvons donc constater que la très grande majorité des whey vendues dans les points de vente les plus populaires sont en réalité des whey fromagères et peu sont des isolats. La **Pure whey** de chez *Eafit*[®] a le mérite d'avoir dans sa composition des vitamines, des antioxydants et minéraux alors que ces composants sont inexistant dans les autres whey. Les produits de *Myprotein*[®], de part leur placement uniquement sur internet, possèdent un prix nettement inférieur à la moyenne et affichent donc un rapport qualité/prix très favorable comparativement aux autres. On notera que les produits de grandes surfaces possèdent un prix très élevé comparativement à leur qualité qui laisse à désirer...

De ces whey il y aura élaboration d'un produit, les compléments protéiques enrichis en **caséine**. La caséine est la protéine majoritaire dans le lait. Nous avons vu que son intérêt : c'est une protéine à digestion lente qui permet un apport nutritionnel prolongé avec une diffusion constante sur 7 heures. Cela permet aux sportifs de contrer l'effet de catabolisme notamment entre deux repas ou au cours de la nuit. La caséine dite micellaire est la mieux absorbée et la plus riche en nutriments.

Un autre produit est développé à partir de ces whey, il s'agit des **gainers**. Les gainers sont des compléments protéiques fortement dosés en glucides (souvent 40 à 50% de glucides) dont le but est d'augmenter les apports caloriques quotidien. Il est conseillé chez les personnes ayant du mal à prendre du poids ou voulant augmenter, d'avantage qu'avec les whey classiques, leur masse musculaire. On retrouve alors dans leur composition un mélange de whey, de caséine et de glucides comme la maltodextrine. Ainsi, l'apport en calories et en protéines est constante au niveau des muscles, et de plus l'apport constant également de glucides permet de conserver le stock de glycogène dans ceux-ci et ainsi d'éviter un éventuel catabolisme protéique.

Nous allons, dans la partie suivante, voire comment conseiller ces produits auprès des sportifs en les intégrant à leurs objectifs. Nous verrons quels produits est le plus indiqué en fonction des demandes des clients.

2. INTÉGRER CES COMPLÉMENTS ALIMENTAIRES AUX OBJECTIFS DU SPORTIF, CONSEILS ASSOCIÉS

La prise de compléments alimentaires est fréquente chez les sportifs de haut niveau de statut professionnel. Chez les amateurs de tous niveaux, cette prise se justifie en fonction de l'état de fatigue, de l'équilibre alimentaire, des plannings familiaux et/ou professionnels. Nous allons donc, dans cette partie, répondre aux diverses demandes de sportifs amateurs que l'on peut rencontrer en pharmacie. Les sportifs viennent voir le professionnel de santé que nous sommes avec des objectifs de performances, des objectifs physiques qu'ils veulent atteindre.

Nous présenterons alors ces objectifs, que l'on peut rencontrer au comptoir, en y intégrant les compléments alimentaires adaptés et les conseils associés.

2.1. OBJECTIF DE PRISE DE MASSE MUSCULAIRE

Cet objectif se retrouve chez les sportifs plutôt fins voulant développer leur gabarit, leur masse musculaire.

On conseillera alors ici les compléments protéiques type **Gainer**. Ce type de complément, comme vu précédemment, associe un **apport enrichi en protéines et en glucides**. Ces deux éléments sont essentiels. On retrouve alors les bienfaits des wheys comme vu précédemment, avec un enrichissement en glucides.

Sans protéines, le corps ne peut pas produire de muscles. Il faudra alors en apporter entre 0,8 et 1,2 g par kilo de poids corporel par jour pour un sportif débutant, à 1,3 et 2,5 g par kilo de poids corporel par jour pour un sportif confirmé (ce total doit se retrouver avec l'addition de l'alimentation et des compléments). Les glucides peuvent favoriser un aspect de muscle plein. En entrant dans les muscles, les glucides entraînent avec eux une certaine quantité d'eau, qui gonfle les muscles. De plus, l'apport constant de glucides permet de conserver le stock de glycogène dans les muscles et ainsi, éviter un éventuel catabolisme protéique. Cet apport de glucides provoquera, dans un premier temps, un gain de masse grasse. Cette masse grasse sera convertie, par la suite, en masse musculaire.

Pour la recherche de l'aspect plus musclé, plus volumineux, il peut être conseillé également un complément de **créatine**. Sur les premiers jours de prise, la créatine produit une rétention d'eau provoquant un gain de volume musculaire qui peut faire prendre 2 à 3 kg et augmenter le volume des muscles de façon rapide. Passés les premiers jours, la créatine permettra de s'entraîner plus dur et d'avoir une meilleure récupération⁴⁰.

Conseils associés sur l'entraînement : Si l'objectif est la prise de muscle, il est important que le sujet n'essaye pas de gagner en force. Prendre de la force n'est pas un bon moyen de gagner du muscle. Il ne faudra alors pas se focaliser sur les poids soulevés. Le sportif essayant simplement de soulever le plus lourd possible, avec un entraînement de type force (poids élevés et faible répétition), ne va pas forcément prendre en volume musculaire. Pour prendre du volume, le conseil à donner est celui de **travailler sur des répétitions de mouvements** de l'ordre de 15 répétitions par série d'exercice. Il sera conseillé de réaliser au moins 4 séries d'exercice identiques. Le poids idéal à fixer sur les exercices doit être celui qui permet de réaliser vraiment les 15 répétitions, la dernière répétition étant difficile (la dernière possible).

De plus, lorsque l'on cherche à prendre du muscle rapidement, il faut tenter de prendre du muscle en masse, sur les gros muscles, de façon rapide et efficace. Pour cela, il ne faut pas chercher à faire de finition, ne pas chercher à isoler le travail sur une portion particulière du muscle. En effet, ces exercices d'isolation peuvent servir à améliorer l'aspect d'une partie du muscle, mais pour augmenter le volume global du muscle, ils sont inutiles. Ces exercices d'isolations sont retrouvés dans les salles de musculation, ce sont les « *machines* » à poulies, elles sont facilement utilisables pour les sportifs amateurs mais le conseil à donner est d'utiliser en priorité des exercices de bases qui font travailler **la zone musculaire dans son ensemble**. La spécification sur une portion de muscle précise ne se fait qu'ensuite, une fois que le volume musculaire est déjà installé.

Sur le nombre d'entraînements par semaine, il sera conseillé de ne pas s'entraîner tous les jours, il faut garder au moins deux jours de **repos** par semaine : c'est pendant la récupération que se fait la croissance musculaire, et non pas pendant l'entraînement.

L'entraînement apporte la stimulation, et la récupération permet la construction. De plus, multiplier les séances ferait risquer l'apparition de blessures chez le sportif amateur.

2.2. OBJECTIF DE MAINTIEN DE LA MASSE MUSCULAIRE AVEC PERTE DE MASSE GRASSE

Cet objectif se retrouve chez les sportifs à gabarit important, voulant maintenir la masse musculaire, mais désirant un « *muscle sec* ».

L'objectif de prise de masse musculaire est atteint, le sportif veut désormais rester sur ce volume musculaire et **perdre l'excès de graisse**. On pourra alors conseiller ici les compléments protéiques à base de **caséine**. Comme vu précédemment, il s'agit d'une protéine à assimilation lente. Cet apport de caséine va permettre d'avoir une action plus longue et d'avoir une **action anti-catabolique** en permettant d'obtenir un bon apport en protéines assimilées sur une longue période. Cela va avoir pour conséquence sur l'organisme d'éviter de dégrader les protéines musculaires. La caséine, du fait de sa digestion plus lente, ne produit donc qu'un effet modeste sur l'anabolisme. En revanche la caséine va permettre de freiner la dégradation des protéines car, contrairement à la Whey qui est vite assimilée et utilisée, la caséine grâce à son absorption plus lente permet de garantir un taux plasmatique en acides aminés plus lissé dans le temps (*Figure 16*). Ainsi elle s'oppose aux processus cataboliques physiologiques de l'organisme. De plus la particularité de ces compléments à base de caséine est qu'ils sont pauvres en glucides et donc ne provoqueront pas de prise de masse comme les gainers. **Il sera alors conseillé à ces sportifs de la consommer le matin au réveil et le soir au coucher.**

Conseils associés sur l'entraînement : La fréquence d'entraînement recommandée est de 3 par semaine. Au niveau du travail à fournir, nous serons ici sur des séries de 10 à 12 répétitions. Il sera également conseillé d'inclure une ou deux séances de « cardio » par semaine.

Le sportif peut, par la suite, passer à **la période de sèche** s'il trouve qu'il stocke une quantité de graisses non négligeable. Ainsi, l'effet dessiné et sculpté d'un muscle s'obtient suite à cette période dite « *de sèche* » qui permet de se **débarrasser de l'excès de graisse et d'eau infiltrées entre le muscle et la peau**. Pour atteindre cet objectif de perte de poids et d'effet sculpté, il faut réorienter son régime alimentaire en privilégiant les protéines au détriment des lipides et des glucides et ainsi donner toujours au muscle les éléments essentiels à son tonus voire à sa croissance. L'organisme est forcé de puiser dans ses réserves de graisses et de sucres et active donc le séchage.

Les périodes de régime ou « *de sèche* » sont souvent difficiles pour les personnes qui les entreprennent : fatigue, irritabilité, sensation de faim... C'est pour cela qu'il est conseillé de s'aider de compléments alimentaires qui aident à atteindre ses objectifs rapidement et efficacement. Il faut savoir choisir les bons ingrédients, en alliant brûleurs de graisses, boosters de métabolisme, draineurs et nutriments essentiels afin d'obtenir la combinaison idéale pour aider à :

- Brûler les graisses, notamment grâce au **guarana** qui augmente la thermogénèse et au **thé vert** qui aide à brûler les calories.

- Drainer les excès d'eau et de toxines avec le **cassis**, les **racines de radis noir** et le **pissenlit**.
- Aider à se booster naturellement grâce à l'**arginine**, au **zinc** et aux **vitamines du groupe B**.

Pour brûler des graisses, il faudra associer au programme de musculation habituel des exercices de cardio-training sur des séances de 1h.

2.3. OBJECTIF DE CROISSANCE MUSCULAIRE POUR SPORTIF AFFÛTÉ

Cet objectif se retrouve chez le sportif qui a déjà développé sa masse musculaire, qui s'est affûté, et qui désire encore augmenter sa masse musculaire.

La **whey** est alors toute indiquée pour cet objectif. En effet, nous avons vu que les compléments à base de Whey sont indiqués chez le sportif voulant développer sa masse maigre, c'est-à-dire sa masse musculaire. Il sera conseillé pour le sportif de prendre ce complément environ 30 minutes à 1 heure après son entraînement, c'est ce qu'on appelle la **fenêtre anabolique**. Avec la Whey, le consommateur doit répéter les prises s'il veut maintenir un taux d'acides aminés constant dans le sang. Cette pression d'acides aminés aura un effet anabolique sur l'utilisation des acides aminés par les muscles. La whey est également indiquée en collation à 10h et à 16h afin de garantir une pression protéique.

Au niveau des efforts à fournir, le sportif peut progressivement augmenter la charge de travail en respectant tout de même au moins 6 répétitions par série, l'objectif étant de prolonger l'effort jusqu'à « l'échec » d'une répétition.

Ces trois objectifs soulignent la progression que peut avoir un sportif face à ses attentes sur la masse musculaire. Les débutants devront commencer progressivement les efforts musculaires afin de « gagner » du muscle et se préparer aux charges de travail important à venir s'ils continuent ces sports. Pour tous ces objectifs, il faudra également avoir en tête l'apport :

- **De BCAA**, pour la récupération, pour éviter l'épuisement des réserves en protéines et acides aminés de l'organisme, pour apporter de l'énergie pendant les séances d'entraînement et ainsi améliorer l'endurance ;
- **De vitamines, minéraux et antioxydants** pour la récupération, pour la croissance musculaire, pour la réparation et la croissance tissulaire, pour éviter les fatigues réactionnelles... ;
- **D'une bonne hydratation** avant, pendant et après l'effort afin de répondre à tous les besoins de son organisme, éviter la fatigue, les dommages, les blessures et favoriser la récupération. L'eau va permettre le transport, les échanges, les interactions des nutriments et l'évacuation de leurs déchets métaboliques.
- **D'aliments de qualités variées et équilibrées** qui permettront, comme vu précédemment, l'apport de nutriments essentiels pour la pratique sportive.

2.4. OBJECTIF DE RÉALISATION D'UN EFFORT DE MOINS DE 4H

Les disciplines concernées sont : le sprint, le cross, le demi-fond, le 10Km, le semi-marathon, le marathon, le trail court, le triathlon, le cyclisme, le football, le rugby, le handball, la natation...

Globalement, les objectifs principaux des sportifs avant d'aborder un effort de ce type sont de **prévenir les déficits en vitamines et minéraux, éviter tout problème digestif, garantir une hydratation optimale et bien sûr avoir une teneur en glycogène musculaire et hépatique optimale** (c'est-à-dire les réserves de glucose respectivement dans les muscles et le foie). Le glycogène libère progressivement au niveau sanguin les molécules de glucose afin de maintenir la glycémie constante et répondre aux besoins liés au bon fonctionnement de l'organisme (les organes vitaux, les muscles, le cerveau...).

La nutrition apporte plusieurs solutions de prise en charge en amont d'une course, notamment en adoptant une alimentation riche en glucides les **jours qui précèdent une activité physique**, augmentant ainsi les stocks de glycogène et améliorant le rendement à l'effort. La consommation d'acides gras essentiels est aussi à prendre en compte afin de prévenir les fatigues nerveuses et psychologiques.

La **veille de l'épreuve** il sera recommandé que le repas soit composé d'aliments bien tolérés sur le plan digestif. Il faut donc éviter les aliments trop fibreux (légumes, pain complet...), préférer des aliments normocaloriques, hyperglucidiques, avec index glycémique bas de préférence, plutôt digestes (éviter fibres, graisses cuites, aliments nouveaux,...), boire en abondance et espacer d'au moins 1h le repas du coucher afin de garantir une bonne vidange gastrique.

- **Avant l'effort**, le matin de l'épreuve correspond souvent au dernier repas que le sportif va faire. Très important, ce repas a généralement lieu entre 8h et 12h après le repas de la veille. Durant ce temps de jeûne, les réserves en glycogène musculaire et hépatique diminuent de manière importante. De même, le niveau d'hydratation de l'organisme est abaissé. Il est donc primordial d'apporter des aliments digestes permettant de remonter les stocks de glycogène et de boire pour réhydrater l'organisme. Ce repas devrait idéalement être pris **3h avant le début de la compétition** et comporter des aliments à index glycémique bas. L'hydratation devra être effectuée par la prise régulière d'eau en petite quantité (150 à 200mL, soit l'équivalent d'un verre d'eau) pour atteindre minimum 500mL par heure. On pourra alors intégrer le **Cake énergétique**⁸⁴ de chez *Eafit*[®], apportant des glucides, protéines, lipides, vitamines et minéraux, guarana... Ce produit permet d'apporter tous les nutriments nécessaires à un effort à venir et possède l'avantage d'être une formule toute faite, pratique à préparer pour les sportifs manquant de temps. Avant l'épreuve, il sera important de boire des petits volumes d'eau afin d'hydrater normalement l'organisme sans apporter un excès d'eau provoquant un ballonnement. Cet apport hydrique peut se faire avec une **boisson d'attente** faiblement sucrée (préférer le fructose) afin de ne pas encombrer l'estomac du sportif et enrichie en vitamines et minéraux.

- **Pendant l'effort**, le sportif doit assurer un apport énergétique exogène, *à fortiori* pour les épreuves longues (marathon, trail...), afin de :

- ✓ Maintenir les stocks de glycogène musculaire et hépatique ;

⁸⁴ <https://www.eafit.com/cake-energetique-chocolat-400g.html>

- ✓ Préserver une hydratation optimale et minimiser les pertes minérales ;
- ✓ Retarder l'apparition de la fatigue physique (musculaire) et nerveuse ;
- ✓ Diminuer les dommages musculaires liés à l'effort.

Il sera alors conseillé une **boisson hypo ou isotonique**. Le sportif devra consommer une gorgée toutes les 10 minutes afin d'apporter 400-500ml par heure, cette quantité est à augmenter si les conditions atmosphériques sont chaudes, sèches et s'il y a présence de vent.

Quant à la question de boire ou manger pendant la course, il est conseillé essentiellement la prise de boisson pour son apport complet en macro et micronutriments. Le solide (barres énergétiques) n'est pas essentiel étant donné la durée de l'effort assez courte (inférieure à 4h). Un intermédiaire, le **gel énergétique**, peut être envisagé mais en appoint de la boisson de l'effort.

- **Après l'effort**, on conseillera une **boisson de récupération iso ou hypertonique** à consommer le plus rapidement. Concernant la consommation de glucides, elle doit être particulièrement importante après l'effort pour la resynthèse des stocks de glycogène, hépatique et musculaire. Cette consommation doit se faire dans les 30 minutes à 1h après l'effort afin de bénéficier de la fenêtre métabolique. De plus, pour lutter contre l'acidose il est recommandé de boire des boissons alcalinisantes (boissons bicarbonatées). Cette hydratation doit se faire abondamment afin d'éliminer les déchets métaboliques. La consommation de protéines doit aussi être intégrée après l'effort afin de lutter contre le catabolisme et favoriser l'anabolisme protéique, on conseille alors 10 à 20g de protéines. La **Boisson post effort**⁸⁵ de chez *Eafit*[®] possède une formule très intéressante, constituée de tous ces éléments.

2.5. OBJECTIF DE RÉALISATION D'UN EFFORT DE PLUS DE 4H

Les sportifs désirant des conseils pour cet objectif, en pharmacie, ne sont pas rencontrés régulièrement. La raison est simplement que ces disciplines sont souvent exercées par des **sportifs aguerris**. Cependant, certains amateurs désirant se lancer un « challenge » doivent recevoir toutes les informations nécessaires pour un bon déroulement de leur épreuve. Les disciplines concernées sont : l'ultra-marathon, le trail long, l'ultratrail, le triathlon de longue distance, l'Ironman qui est une épreuve emblématique, enfin nous pouvons rencontrer des amateurs de cyclotourisme d'une longue durée pour lesquels l'enchaînement de journées intenses sera pris en compte. Si la préparation nutritionnelle était très importante pour les épreuves de moins de 4h, pour les épreuves de plus de 4h elle est obligatoire. Tout comme les entraînements, la préparation nutritionnelle à ces efforts et les ravitaillements doivent être aboutis et **testés en condition de course**.

Alimentation à conseiller la semaine qui précède la course : **Le régime dissocié Scandinave**, bien connu des professionnels du sport, *il a été créé dans les années 60-70 par des chercheurs scandinaves pour notamment les skieurs de fond, d'où son nom*. L'objectif de ce régime est **d'obtenir un taux de glycogène le plus élevé possible au moment de**

⁸⁵ <https://www.eafit.com/nos-produits/endurance/boissons/la-boisson-eafit-post-effort.html>

l'épreuve, on parle de « *Surcompensation glycogénique* ». Ce régime débute six jours avant la course, deux phases sont présentes :

- ✓ Une première période qui dure trois jours (précisément du jour J-6 au jour J-4) où l'alimentation est pauvre en glucides. On parle de phase **hypoglucidique**, en dessous de 20% de l'Apport Énergétique Total (AET) alors que la normalité doit être supérieure à 50% de l'AET (cf : *Partie I, sous-partie 1.4. ; Partie II, sous-partie 1.1.*) et **riche en lipides** (50 à 55% de l'AET **et protéines** (30 à 35% de l'AET). En parallèle, une activité sportive intense est pratiquée afin de provoquer une diminution maximale des réserves en glycogène, notamment musculaires.
- ✓ Une deuxième période, à l'inverse, riche en glucides. On parle alors de phase hyperglucidique (plus de 80% AET), normoprotéique et hypolipidique, associée à une diminution très importante de l'entraînement, voir du repos.

Il est conseillé également de **boire énormément d'eau** entre les repas (au moins 2L) pour ces deux phases.

Ce régime, certes efficace pour augmenter les réserves glycogéniques, n'est néanmoins pas dépourvu d'**effets secondaires** : perte de poids, troubles digestifs, fatigue, diarrhée, hypoglycémie, troubles de l'humeur... qui peuvent aboutir à des troubles du comportement alimentaire. Attention donc à s'enrichir de conseils avant de débiter ce régime, si la tolérance n'est pas bonne il peut alors être conseillé d'élever le pourcentage des glucides dans la première phase.

La veille de l'épreuve, le repas doit être pris théoriquement 8 à 12h avant, afin de permettre à l'athlète d'augmenter de manière conséquente ses **réserves en glucides** et donc d'améliorer ses résultats en compétition. Ce repas, riche, est composé en majorité d'aliments dont l'objectif est un index glycémique plutôt moyen-bas (on retrouve dans ce cas des pâtes). La quantité ingérée est corrélée avec la durée de l'épreuve : plus l'épreuve est longue et plus la quantité de pâtes sera importante (*de 150 à 500g généralement en poids sec de pâtes par exemple*). En parallèle, ce repas doit être composé d'aliments bien assimilés sur le plan digestif, organoleptique (goût, odeur, texture...) par le sportif en limitant les aliments trop fibreux, les aliments à goûts forts (céleri, asperge, choux, salsifis, poivron, poireau, fenouil...) afin de prévenir l'apparition de troubles digestifs à l'effort.

- **Avant l'effort**, les conseils et compléments alimentaires à prendre sont les mêmes que pour *l'objectif de réalisation d'un effort de moins de 4h*.

- **Pendant l'effort**, les intérêts sont les mêmes que pour *l'objectif de réalisation d'un effort de moins de 4h*. Il sera alors conseillé une **boisson hypo ou isotonique**. Le sportif devra consommer une gorgée toutes les 10 minutes afin d'apporter 400-500ml par heure, cette quantité est à augmenter si les conditions atmosphériques sont chaudes, sèches et s'il y a présence de vent. Les **barres énergétiques** trouvent ici leur intérêt notamment par l'apport de vitamines, minéraux, antioxydants mais aussi par l'apport de **BCAA** qui sont essentiels à ce type d'activité. Ces barres peuvent être apportées toutes les 30 minutes, cependant attention aux sports associant une épreuve de vélo suivie de course à pied (*Ironman par exemple*) où la dernière prise de barre énergétique devra se faire 20-30 minutes avant l'épreuve de course afin d'éviter les inconforts digestifs.

À mi-épreuve, une **boisson de récupération peut être intégrée à la place d'une boisson d'hydratation classique**. Tout simplement car les boissons de récupération

permettent de récupérer pendant l'effort tout en apportant des glucides mais également certaines vitamines (vitamines du groupe B et vitamine C), minéraux (sodium, potassium, magnésium...), BCAA. L'intérêt est donc de soulager les muscles de l'athlète avec les protéines tout en maintenant un apport énergétique avec les glucides. Le conseil à donner au sportif est qu'il se fasse un bidon de cette solution, à prendre à mi-épreuve, suite à quoi il retournera sur une boisson d'hydratation.

- **Après l'effort**, les conseils et compléments alimentaires à prendre sont les mêmes que pour *l'objectif de réalisation d'un effort de moins de 4h*.

Nous avons donc pu voir en quelle circonstance et comment placer les compléments alimentaires que nous avons détaillés. De plus les conseils associés sont primordiaux, ils permettront au sportif de bien aborder ses épreuves et ne pas laisser de place au hasard. La nutrition *péri-compétition* est un aspect essentiel de la préparation du sportif. Elle va permettre la préparation optimale du sujet, d'aborder l'épreuve dans les meilleures circonstances possibles, soutenir physiquement et mentalement l'effort et récupérer le plus vite et efficacement possible.

3. LE PHARMACIEN FACE AU SPORTIF

3.1. RÔLE DU PHARMACIEN DANS LE CONSEIL NUTRITIONNEL DU SPORTIF

Selon l'Article R.4235-48 du code de déontologie des pharmaciens⁸⁶, le pharmacien « a un **devoir particulier de conseil** lorsqu'il est amené à délivrer un médicament qui ne requiert pas une prescription médicale. Il doit, par des conseils appropriés et dans le domaine de ses compétences, participer au soutien apporté au patient ». La notion de conseil est donc primordiale, et chère au pharmacien d'officine qui est bien souvent considéré comme le professionnel de santé le plus disponible pour un tel acte.

Pour ce faire, il sera important pour chaque vente ou demande d'un client, d'identifier la situation. Il faudra aborder les raisons de ces achats, pour quel sport est ce destiné, quels sont les objectifs du client. Nous avons pu voir dans cette thèse que la prise en charge de la nutrition du sportif est parfois pointilleuse et sujet-dépendant.

Le pharmacien, de part sa formation universitaire et les formations complémentaires disponibles, **possède les connaissances nécessaires** sur la physiologie, la biologie et la nutrition pour prendre en charge un sportif. C'est, de plus, le professionnel de santé le plus **disponible** : le pharmacien peut accorder du temps à chaque client sans rendez vous, les pharmacies sont ouvertes 6 jours sur 7 sur des grandes amplitudes horaires et elles possèdent une bonne proximité avec les clients de part leurs présences dans chaque ville. Le pharmacien est un professionnel de santé en qui les Français ont **confiance**, les familles

⁸⁶ <http://www.ordre.pharmacien.fr/content/download/3723/44024/version/6/file/Code-de-deontologie.pdf>

viennent dans la même pharmacie pour la délivrance d'ordonnance, l'achat de produits de santé et pour trouver des conseils pertinents.

Le pharmacien possède donc toutes les compétences pour cette prise en charge : le savoir, le savoir être (conseils associés à chaque délivrance) et le savoir faire (compétence en lien avec son expérience de terrain).

Cependant, la vente de ces produits en pharmacie n'est souvent pas sujette à grosse rotation. Les produits sont généralement mal connus par les collaborateurs qui les délivrent. Les sportifs sont parfois mieux renseignés dans d'autres points de vente. De plus, ils considèrent qu'ils peuvent trouver moins cher, notamment sur internet.

La force du pharmacien sera de répondre au mieux à la demande du client en axant chaque vente par des conseils associés et basés sur ses connaissances ainsi que la confiance du client envers lui. Le pharmacien doit donc connaître ses produits et leurs intégrations dans la physiologie, la biologie et la nutrition du sportif. Au delà de répondre parfaitement aux demandes de son client, il pourra également pérenniser la confiance de celui-ci, et par la suite, de celle de son entourage *via* le « *bouche à oreille* »...

3.2. LE PHARMACIEN FACE AUX TROUBLES DU COMPORTEMENT ALIMENTAIRE DU SPORTIF

Le pharmacien d'officine doit également être vigilant sur certaines dérives liées à la pratique sportive et le lien qu'elle a avec la nutrition. En effet, chez certains sportifs nous pouvons retrouver des troubles du comportement alimentaire. Dans les cas les plus extrêmes, leur traitement doit être souvent multidisciplinaire, c'est-à-dire à la fois diététique, psychanalytique et comportemental. Les troubles du comportement alimentaire englobent plusieurs pathologies :

- **L'anorexie mentale** : elle se définit selon cinq critères, selon le *Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux*⁸⁷ :

- Un refus, une peur de maintenir ou d'atteindre un poids minimum normal pour l'âge et la taille ;
- Une peur intense de devenir obèse, alors que l'indice de masse corporelle (IMC) est inférieur à la normale ;
- Une perte de poids de plus de 15%, avec un poids inférieur chez l'adulte à un IMC de 18.5 ;
- Un déni de la gravité de l'état nutritionnel ;
- Une aménorrhée de plus de trois mois.

- **La boulimie** : elle se définit selon quatre critères⁸⁷ :
 - La survenue de deux crises compulsives minimum par semaine ;
 - L'ingestion massive et rapide de denrées alimentaires associées à un sentiment de perte de contrôle;

⁸⁷ Allen Frances et al, Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux, Édition masson, 2005, 4, 675-690

- Comportements compensatoires : vomissements, laxatifs, hyperactivité physique ;
- L'estime de soi est influencée de manière excessive par le poids et la forme corporelle.

Toutes les deux sont des maladies qui touchaient essentiellement la femme, mais les hommes sont de plus en plus concernés. Les régimes hypocaloriques, draconiens, mal équilibrés et non suivis par des professionnels de santé favorisent leur survenue. Dans $\frac{3}{4}$ des cas, l'anorexie mentale est précédée d'un régime. Les adolescentes et jeunes femmes qui pratiquent souvent les « *diètes anarchiques* » ont environ trois fois plus de risque de développer un des ces troubles. L'importance accordée à la minceur est aussi un facteur favorisant.

- **L'orthorexie** est très souvent retrouvée dans les populations de coureurs à pieds. Il s'agit de « *la pensée obsessionnelle du diététiquement correct* ». On retrouve alors une rigidité des paramètres qui encadrent leur alimentation : contrôle permanent des quantités (au gramme près), aliments catégorisés « *interdits* » et évincés des menus (matières grasses, charcuteries, fromages...).

- **La restriction alimentaire** : apports inférieurs aux besoins réels. Très souvent retrouvée dans le milieu sportif. Ce concept vise simplement à atteindre un poids bas (la plupart du temps inférieur au poids de forme, mais tout en restant acceptable avec un ratio masse maigre/masse grasse plus ou moins correct). Cela est retrouvé dans la plupart des sports d'endurance (semi, marathon, trail, ultra...), sports à catégories de poids (judo, boxe...), sports à visée esthétique (danse, fitness...).

- Le pharmacien peut également se trouver également face à un sportif présentant une **hyperactivité physique et mentale** se traduisant par un surentraînement. Les déficiences, voire carences, sont souvent multiples : acides aminés et acides gras essentiels, vitamines, oligoéléments, minéraux... La dénutrition est une des principales complications avec perte de la masse active (muscle et os), potentialisée par la surcharge de dépenses énergétiques. Les conséquences globales pour les sportifs peuvent être désastreuses sur le moyen et long terme, et bien entendu sur la performance finale.

Ainsi, lors du questionnement sur les habitudes sportives et nutritionnelles du sportif, le pharmacien peut déceler certaines pathologies ou mauvaises habitudes d'hygiène de vie. Le pharmacien pourra alors alerter le sportif sur ses dérives et l'orienter vers un rééquilibrage alimentaire ou vers un professionnel de santé compétant.

3.3. LE PHARMACIEN FACE AU DOPAGE

De part sa connaissance sur les substances actives et leurs interactions sur l'organisme, le pharmacien a toute sa place dans la lutte face à une autre dérive : **l'utilisation des produits dopants.**

Il est tout d'abord important de savoir, d'après l'AFLD, que le taux de résultats anormaux (dopage), **chez les sportifs amateurs**, s'élève à 2,8%⁵⁴. Le dopage dans le milieu amateur est donc présent.

Le **rôle** du pharmacien dans la lutte contre le dopage est bien précisé par les instances pharmaceutiques :

- L'article R4235-2 du Code de la Santé Publique⁸⁸ précise à ce sujet qu'elle incombe au pharmacien et par cet article elle devient une **obligation déontologique au cœur du métier de pharmacien**. Le pharmacien doit alors « *contribuer à l'information et à l'éducation du public en matière sanitaire et sociale. Il contribue notamment à la lutte contre la toxicomanie, les maladies sexuellement transmissibles et le dopage* ».

- L'article L232-10 du Code du Sport⁸⁹ mentionne qu'il est interdit à toute personne de « *Prescrire, administrer, appliquer, céder ou offrir aux sportifs, sans raison médicale dûment justifiée, une ou plusieurs substances ou méthodes mentionnées à l'article L. 232-9, ou de faciliter leur utilisation ou d'inciter à leur usage* ».

- De plus, le 23 janvier 2013, l'Académie Nationale de Pharmacie a publié « *L'actualité de la lutte contre le dopage* »⁹⁰ où elle recommande aux pharmaciens d'officine « *d'être très vigilants lors de la délivrance de produits susceptibles d'être utilisés à des fins de dopage (médicaments, compléments alimentaires), de porter une attention particulière aux doses et aux durées de traitement et d'attirer l'attention de l'utilisateur sur les conséquences de la prise de ces produits sur sa santé y compris le fait de rendre positif le résultat de contrôles anti-dopage* ».

Il en revient alors de notre responsabilité d'expliquer et accompagner les sportifs amateurs lors de conseils autour des compléments alimentaires afin de les sensibiliser à cet aspect. De plus, nous devons être vigilants lors de la délivrance de produits, notamment dit de « *conseil* », susceptibles d'être utilisés à des fins de dopage ou pouvant positiver un contrôle antidopage par « **accident** » dans un cas de pure auto-médication.

Le pharmacien est donc le garant de la non-utilisation des produits à des fins de dopage puisqu'il sera le dernier professionnel de santé entre l'utilisateur et le produit dopant.

⁸⁸ <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000006913652&cidTexte=LEGITEXT00006072665&dateTexte=20070131>

⁸⁹ <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006071318&idArticle=LEGIARTI00006547628&dateTexte=&categorieLien=cid>

⁹⁰ http://www.acadpharm.org/dos_public/Recommandations_Dopage_VF_2013.02.14.pdf

Pour aider le pharmacien dans cette lutte, le 12 juin 2012, l'Agence Française de Normalisation (AFNOR)⁹¹ a lancé la norme NF 94-001. Cette norme a été instaurée en association avec le ministère chargé des sports et l'ensemble des parties prenantes (industriels, fédérations sportives, administrations). Cette norme permet de prouver l'absence de substances dopantes dans le complément alimentaire.



Cette norme AFNOR permet de se protéger d'un risque pour le consommateur : l'ingestion de substances dopantes et/ou dangereuses pour sa santé. En effet, certains industriels, pour s'assurer l'efficacité de la prise de leurs produits par les clients, vont incorporer à leurs formules des substances dopantes qui ne seront pas mentionnées sur l'étiquetage car la présence de ces substances est bien sûr interdite.

Le docteur Victor Navarro, hépatologue, présente en 2017 une étude sur la relation entre les lésions hépatiques et les produits de nutrition⁹². Il démontre alors que : sur 203 produits analysés utilisés pour augmenter la prise de masse ou les performances des sportifs, 80 % étaient contaminés et 50% d'entre eux contenaient des stéroïdes anabolisants. Cette étude, certes basée sur l'analyse de produits vendus aux Etats-unis, montre bien que l'incorporation de substances dopantes à l'insu du consommateur peut se faire de manière massive.

Ainsi, on comprend l'importance de cette norme AFNOR et l'intérêt qu'a le sportif de rechercher les produits l'arborant. En ce sens, le consommateur doit aussi se méfier des produits vendus sur internet et doit bien vérifier l'origine du laboratoire et si celui-ci est conforme aux normes françaises en vigueur.

Le pharmacien a également tout intérêt de travailler avec des fournisseurs labélisés norme AFNOR.

Nous avons pu comparer les différentes marques de compléments alimentaires que le sportif amateur peut rencontrer. Ces comparaisons ont permis de mettre en évidence les différences de qualité des produits en présentant leurs principales qualités et leurs principaux défauts.

Nous avons également intégré ces produits à divers objectifs qu'un sportif amateur peut se fixer. Nous y avons ajouté les conseils nutritionnels et les conseils d'entraînements que le pharmacien peut donner aux sportifs pour leur complète prise en charge. Avec ces nouvelles connaissances, le pharmacien pourra conseiller de manière optimale le sportif désirant s'améliorer. Le pharmacien exercera alors son métier de manière complète en assurant une dispensation de produits auquel il associera ses conseils essentiels.

Enfin le pharmacien, de part son rôle de professionnel de santé, doit avertir et protéger le sportif d'éventuelles dérives liées à la volonté qu'à celui-ci d'optimiser sa

⁹¹ <https://normalisation.afnor.org/actualites/prevention-du-dopage-et-alimentation-une-norme-afnor-pour-apporter-de-la-confiance-aux-sportifs/>

⁹² Navarro V, Khan I, Björnsson E et al. "liver injury from herbal and dietary supplements". Abstract d'hépatologie de l'American Association for the Study of liver Diseases. 2017, 65(1), 363-373

nutrition et ses performances. Nous avons alors abordé les troubles du comportement alimentaire et les conduites dopantes.

Face au dopage, le pharmacien doit avoir un discours en lien avec ses obligations déontologiques en luttant contre toute conduite dopante. Il pourra alors informer le sportif des produits, des risques, des normes du dopage.

CONCLUSION

Lors de cette thèse, nous avons pu constater que le pharmacien possède un rôle important dans la prise en charge de la nutrition d'un sportif.

De part sa connaissance sur le corps humain, sur les mécanismes physiologiques et biologiques permettant de réaliser des efforts physiques, le pharmacien est apte à justifier les besoins nutritifs d'un individu. Les macronutriments, les micronutriments et l'hydratation sont au centre d'une alimentation de base devant relever les défis physiques demandés par les pratiquants d'activités physiques.

Les dépenses physiques d'un sportif vont justifier l'éventuel recours aux compléments alimentaires. Ces utilisations de substances sont *situation-dépendantes* et *individu-dépendants*.

Le pharmacien doit alors connaître les compléments alimentaires présents dans son officine afin de répondre au mieux à la demande des clients et à la situation. Il doit également être conscient de la concurrence de vente qu'il peut y avoir sur ces produits et ainsi connaître à *minima* ce que le sportif peut trouver dans ces autres points de vente.

C'est donc par les conseils, un acte au cœur du métier de pharmacien, que celui-ci peut tirer son épingle du jeu et répondre à la demande du client de la manière la plus complète possible.

Le pharmacien doit également exercer son rôle de professionnel de santé en étant attentif sur d'éventuelles dérives retrouvées dans les milieux sportifs. Le dopage et les troubles liés à l'alimentation mettent en danger le sportif concerné. C'est donc en ce sens que le pharmacien doit particulièrement mettre en garde tout sportif sur les risques inhérents à ces consommations non contrôlés et aux conséquences pour la santé.

Les marques de compléments alimentaires développées dans cette thèse vont être celle qu'un sportif amateur rencontrera le plus souvent. Il pourra les retrouver en grande surface, sur internet ou dans la pharmacie la plus proche de chez lui. Les premières consommations se feront avec les produits abordés ici. C'est pourquoi j'ai choisi de ne développer que ces marques là. Il existe cependant une multitude de marques proposant des produits et résultats plus prometteurs les unes que les autres.

Le pharmacien doit également être capable, lors d'une demande, de conseiller les sportifs sur des solutions parallèles ou même alternatives aux compléments alimentaires classiques. Il pourra alors orienter le sujet vers la phytothérapie, l'aromathérapie ou encore l'homéopathie grâce à ses connaissances liées à son diplôme.

Cette thèse n'a pas pour but de révolutionner le milieu de la nutrition, elle permet juste à qui la lira de mieux comprendre l'alimentation du sportif et proposer un support pour une bonne prise en charge en officine.

L'élaboration de ma thèse m'a permis de mieux comprendre et connaître les sujets développés et d'être à présent plus à l'aise lors d'une prise en charge, au comptoir, d'un cas de nutrition sportive.

ANNEXES

Apports Nutritionnels Conseillés en minéraux et oligoéléments

Source : Apports nutritionnels conseillés pour la population française. 3ème édition. Coordonnateur : Ambroise MARTIN. Tec & Doc Ed. Paris, Décembre 2000.

	Ca	P	Mg	Fe	Zn	Cu	F	I	Se	Cr
Enfants 1-3 ans	500 mg	360 mg	80 mg	7 mg	6 mg	0,8 mg	0,5 mg	80 µg	20 µg	25 µg
4-6 ans	700 mg	450 mg	130 mg	7 mg	7 mg	1,0 mg	0,8 mg	90 µg	30 µg	35 µg
7-9 ans	900 mg	600 mg	200 mg	8 mg	9 mg	1,2 mg	1,2 mg	120 µg	40 µg	40 µg
10-12 ans	1200 mg	830 mg	280 mg	10 mg	12 mg	1,5 mg	1,5 mg	150 µg	45 µg	45 µg
Adolescents 13-15 ans	1200 mg	830 mg	410 mg	13 mg	13 mg	1,5 mg	2,0 mg	150 µg	50 µg	50 µg
Adolescentes 13-15 ans	1200 mg	800 mg	370 mg	16 mg	10 mg	1,5 mg	2,0 mg	150 µg	50 µg	50 µg
Adolescents 16-19 ans	1200 mg	800 mg	410 mg	13 mg	13 mg	1,5 mg	2,0 mg	150 µg	50 µg	50 µg
Adolescentes 16-19 ans	1200 mg	800 mg	370 mg	16 mg	10 mg	1,5 mg	2,0 mg	150 µg	50 µg	50 µg
Hommes adultes	900 mg	750 mg	420 mg	9 mg	12 mg	2,0 mg	2,5 mg	150 µg	60 µg	65 µg
Femmes adultes	900 mg	750 mg	360 mg	16 mg	10 mg	1,5 mg	2,0 mg	150 µg	50 µg	55 µg
Hommes > 65 ans	1200 mg	750 mg	420 mg	9 mg	11 mg	1,5 mg	2,5 mg	150 µg	70 µg	70 µg
Femmes > 55 ans	1200 mg	800 mg	360 mg	9 mg	11 mg	1,5 mg	2,0 mg	150 µg	60 µg	60 µg
Femmes enceintes 3ème trimestre	1000 mg	800 mg	400 mg	30 mg	14 mg	2,0 mg	2,0 mg	200 µg	60 µg	60 µg
Femmes allaitantes	1000 mg	850 mg	390 mg	10 mg	19 mg	2,0 mg	2,0 mg	200 µg	60 µg	55 µg
Personnes âgées > 75 ans	1200 mg	800 mg	400 mg	10 mg	12 mg	1,5 mg	2,0 mg	150 µg	80 µg	-

Apports Nutritionnels Conseillés en vitamines

Source : Apports nutritionnels conseillés pour la population française. 3ème édition. Coordonnateur : Ambroise MARTIN, Tec & Doc Ed. Paris, Décembre 2000.

	C*	B ₁	B ₂	B ₃ -PP	B ₅	B ₆	B ₈	B ₉	B ₁₂	A	E	D	K
Nourrissons	50 mg	0,2 mg	0,4 mg	3 mg	2 mg	0,3 mg	6 µg	70 µg	0,5 µg	350 µg	4 mg	20-25 µg	5-10 µg
Enfants 1-3 ans	60 mg	0,4 mg	0,8 mg	6 mg	2,5 mg	0,6 mg	12 µg	100 µg	0,8 µg	400 µg	6 mg	10 µg	15 µg
4-6 ans	75 mg	0,6 mg	1 mg	8 mg	3 mg	0,8 mg	20 µg	150 µg	1,1 µg	450 µg	7,5 mg	5 µg	20 µg
7-9 ans	90 mg	0,8 mg	1,3 mg	9 mg	3,5 mg	1 mg	25 µg	200 µg	1,4 µg	500 µg	9 mg	5 µg	30 µg
10-12 ans	100 mg	1 mg	1,4 mg (G) 1,3 mg (F)	10 mg	4 mg	1,3 mg	35 µg	250 µg	1,9 µg	550 µg	11 mg	5 µg	40 µg
Adolescents 13-15 ans	110 mg	1,3 mg	1,6 mg	13 mg	4,5 mg	1,6 mg	45 µg	300 µg	2,3 µg	700 µg	12 mg	5 µg	45 µg
Adolescentes 13-15 ans	110 mg	1,1 mg	1,4 mg	11 mg	4,5 mg	1,5 mg	45 µg	300 µg	2,3 µg	600 µg	12 mg	5 µg	45 µg
Adolescents 16-19 ans	110 mg	1,3 mg	1,6 mg	14 mg	5 mg	1,8 mg	50 µg	330 µg	2,4 µg	800 µg	12 mg	5 µg	65 µg
Adolescentes 16-19 ans	110 mg	1,1 mg	1,5 mg	11 mg	5 mg	1,5 mg	50 µg	300 µg	2,4 µg	600 µg	12 mg	5 µg	65 µg
Hommes adultes	110 mg	1,3 mg	1,6 mg	14 mg	5 mg	1,8 mg	50 µg	330 µg	2,4 µg	800 µg	12 mg	5 µg	45 µg
Femmes adultes	110 mg	1,1 mg	1,5 mg	11 mg	5 mg	1,5 mg	50 µg	300 µg	2,4 µg	600 µg	12 mg	5 µg	45 µg
Personnes âgées ≥ 75 ans	120 mg	1,2 mg	1,6 mg	14 mg (H) 11 mg (F)	5 mg	2,2 mg	60 µg	330-400 µg	3 µg	700 µg (H) 600 µg (F)	20-50 mg	10-15 µg	70 µg
Femmes enceintes	120 mg	1,8 mg	1,6 mg	16 mg	5 mg	2 mg	50 µg	400 µg	2,6 µg	700 µg 3 ^e trim	12 mg	10 µg	45 µg
Femmes allaitantes	130 mg	1,8 mg	1,8 mg	15 mg	7 mg	2 mg	55 µg	400 µg	2,8 µg	950 µg	12 mg	10 µg	45 µg
Variable de référence**	E	T ²	E	E	E	T ²	T ²	T ²	T ²	E	E		

* Un supplément de 20% est conseillé pour les fumeurs de plus de 10 cigarettes par jour.

** Variable utilisée pour calculer les valeurs des enfants : E = énergie ; T² = taille au carré (représentative de la masse maigre des enfants français)

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Anatomie de base d'un muscle squelettique	14
Figure 2 : Coupe transversale d'une fibre musculaire, et, d'une myofibrille	16
Figure 3 : Les étapes aboutissant à la contraction musculaire	17
Figure 4 : Schéma de contraction d'un sarcomère.....	18
Figure 5 : Les étapes moléculaires du cycle de la contraction musculaire.....	20
Figure 6 : Métabolisme énergétique des protéines, glucides et lipides dans le cycle de Krebs	21
Figure 7 : Schéma du cycle de Krebs détaillé	22
Figure 8 : Schéma du processus de phosphorylation oxydative au niveau des donneurs d'électrons de la chaîne respiratoire.....	23
Figure 9 : Schéma des processus du métabolisme aérobie et du métabolisme anaérobie dans une cellule musculaire, en fonction de l'effort.	24
Figure 10 : Illustration de la régulation de la glycémie et du stockage du glucose par l'organisme	41
Figure 11 : Schéma du flux de glucose dans l'organisme	43
Figure 12 : Relation entre la perte hydrique et la capacité de travail.....	84
Figure 13 : Évaluer l'hydratation en fonction de la couleur des urines	85
Figure 14 : Influence de l'hydratation sur la durée de l'effort	86
Figure 15 : Pyramide alimentaire conçue pour la pratique sportive générale.....	90
Figure 16 : Comparaison de la concentration en leucine (BCCA) dans le temps, entre une prise de caséine et une prise de lactosérum (Whey).....	107
Figure 17 : Comparaison du pourcentage de masse maigre (masse musculaire) avant et après l'étude de Brown et al, chez 3 groupes (groupe contrôle, groupe sous Whey et groupe sous soja).....	108
Figure 18 : Photographie d'une racine de Panax ginseng	117
Figure 19 : Illustration de la plante d'éléuthérocoque.....	118
Figure 20 : Photographie de graines de guarana	119
Figure 21 : Photographie du fruit d'acérola sur son arbuste	119
Figure 22 : Photographie de rhizomes de curcuma	120
Figure 23 : Photographie de spiruline	120
Figure 24 : Photographie d'alvéoles d'une ruche d'abeilles, contenant des larves entourées de gelée royale.....	121

TABLE DES TABLEAUX

Tableau I : Prédiction du métabolisme de base en fonction de l'âge et du sexe.....	27
Tableau II : Métabolisme indicatif, pour un homme de 23 ans pesant 85Kg, en fonction du coefficient d'activité.....	27
Tableau III : Présentation des glucides et composition des aliments en ces glucides	36
Tableau IV : Teneur en glucides de certains aliments.....	37
Tableau V : Teneur en glucides, index glycémique et charge glycémique de certains aliments	39
Tableau VI : Classification des principaux acides gras.....	46
Tableau VII : Teneur en lipides et Acides gras pour 100g d'aliments.....	48
Tableau VIII : Teneur en cholestérol pour 100g d'aliments	50
Tableau IX : Les acides aminés (en gras les 3 acides aminés branchés).....	53
Tableau X : Teneur en protéines pour 100g d'aliments	55
Tableau XI : Valeur biologique des grands groupes d'aliments	56
Tableau XII : Les acides aminés : sources alimentaires et rôles biologiques. (En gras les acides aminés branchés).....	58
Tableau XIII : Sources et teneurs en Sodium de quelques aliments, et correspondance en teneur en sel	61
Tableau XIV : Sources et teneurs en Potassium de quelques aliments.....	62
Tableau XV : Sources et teneurs en Calcium de quelques aliments.....	63
Tableau XVI : Sources et teneur en Magnésium de quelques aliments.....	64
Tableau XVII : Sources et teneurs en Phosphore de quelques aliments.....	65
Tableau XVIII : Les oligoéléments - Apports conseillés - Rôles - Indications – Sources	69
Tableau XIX : Sources et teneurs en Fer de quelques aliments	70
Tableau XX : Sources et teneurs en Vitamine A (exprimés en équivalent d'activité du rétinol) pour quelques aliments	72
Tableau XXI : Sources et teneurs en Vitamine D de quelques aliments.....	73
Tableau XXII : Sources et teneurs en Vitamine E de quelques aliments	74
Tableau XXIII : Sources et teneurs en Vitamine K de quelques aliments	75
Tableau XXIV : Sources et teneurs en Vitamine C de quelques aliments.....	76
Tableau XXV : Sources et teneurs en Vitamine B1 de quelques aliments.....	76
Tableau XXVI : Sources et teneurs en Vitamine B2 pour quelques aliments	77
Tableau XXVII : Sources et teneurs en Vitamine B3 de quelques aliments.....	78
Tableau XXVIII : Sources et teneurs en Vitamine B5 de quelques aliments.....	79
Tableau XXIX : Sources et teneurs en Vitamine B6 de quelques aliments.....	79
Tableau XXX : Sources et teneur en Vitamine B8 de quelques aliments	80
Tableau XXXI : sources et teneurs en Vitamine B9 de quelques aliments	81
Tableau XXXII : Sources et teneurs en Vitamine B12 de quelques aliments.....	81
Tableau XXXIII : Récapitulatif des boissons à utiliser en fonction de l'effort.....	100
Tableau XXXIV : Comparatif de boissons énergétiques en fonction des qualités (<i>vert</i>), des défauts (<i>rouge</i>) et du prix.....	139
Tableau XXXV : Comparatif de boissons de récupération en fonction des qualités (<i>vert</i>), des défauts (<i>rouge</i>) et du prix.....	140

Tableau XXXVI : Comparatif des barres énergétiques en fonction des qualités (<i>vert</i>), des défauts (<i>rouge</i>) et du prix.....	142
Tableau XXXVII : Comparatif des gels énergétiques en fonction des qualités (<i>vert</i>), des défauts (<i>rouge</i>) et du prix	143
Tableau XXXVIII : Comparatif des whey en fonction des qualités (<i>vert</i>), des défauts (<i>rouge</i>) et du prix	147

ABREVIATIONS

Acetyl-CoA : Acétyl Co-enzyme A
ADN : Acide DésoxyriboNucléique
ADP : Adénosine Di-Phosphate
AET : Apport Énergétique Total
AFLD : Agence Française de Lutte contre le Dopage
AFNOR : Association Française de Normalisation
AG : Acide Gras
AJR : Apport Journalier Recommandé
AMA : Agence Mondiale Antidopage
AMP : Adénosine Mono-Phosphate
ANC : Apport Nutritionnel Conseillé
ANSES : Agence Nationale de Sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'Environnement et du travail
ARN : Acide RiboNucléique
ATP : Adénosine Tri-Phosphate
BCAA : Branched Chain Amino Acids
Ca : Calcium
CG : Charge Glycémique
CO₂ : Dioxyde de carbone
CP : Créatine Phosphate
Cr : Chrome
Cu : Cuivre
DGCCRF : Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes
DHA : Acide Docosahexaénoïque
EFSA : European Food Safety Authority
EMA : Agence Européenne du Médicament
EPA : Acide Eicosapentaénoïque
EPO : Erythropoïétine
FAD : Flavine Adénine Dinucléotide
Fe²⁺ : Fer ferreux
Fe³⁺ : Fer ferrique
FSH : Hormone Folliculo Stimulante
GMP : GlycoMacroPeptides
H₂O : Molécule d'eau
HCG : Gonadotrophine Chorionique Humaine
HDL : High Density Lipoprotein
HGH : Hormone de Croissance
IG : Index Glycémique
IMC : Indice de Masse Corporelle
K : Potassium
Kcal : Kilo calorie
LDL : Low Density Lipoprotein
LH : Hormone Luténisante
MD : Métabolisme de Base

Mg : Magnésium
Na : Sodium
NaCl : Chlorure de sodium – sel
NAD : Nicotinamide Adénine Dinucléotide
NO : Monoxyde d'Azote
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
ORL : Oto-Rhino-Laryngologie
P : Phosphore
PAL : Physical Activity Level
PNNS : Programme National Nutrition Santé
PPAR δ : Récepteur Activé par les Proliférateurs de Peroxysomes gamma
Se : Sélénium
TCA : Tricarboxylic Acid Cycle - Cycle de Krebs
THC : Delta-9-Tétrahydrocannabinol
VO₂ max : Volume d'Oxygène maximum
Zn : Zinc

Vu, le Président du jury,

Jean-Marie BARD

Vu, le Directeur de thèse,

Alain PINEAU

Vu, le Directeur de l'UFR,

Gaël GRIMANDI

Nom - Prénoms : Roussière Alexis

Titre de la thèse : Interrogation sur les suppléments alimentaires pour sportif et rôle du pharmacien d'officine

Résumé de la thèse :

Le nombre de sportif amateur et semi-amateur a explosé depuis quelques années. 65% de la population française pratique au moins une activité physique ou sportive par semaine. L'activité physique a pris une place prépondérante dans notre vie moderne où l'apparence et les loisirs deviennent de plus en plus importants.

Le sportif, de part ses activités, puise d'avantage dans ses réserves qu'un individu lambda. C'est pourquoi sa nutrition de base est augmentée et doit être adaptée au type de pratique sportive. Lors de certaines périodes d'entraînements, de compétitions intenses ou encore de sports particuliers, l'organisme aura besoin d'un apport en certains nutriments spécifiques à ces phases ou à ces sports. Le sportif sera alors tenté d'utiliser des compléments alimentaires et constatera qu'il en existe de tout type, qui répondent à diverses demandes et à différents prix.

Le pharmacien, grâce à sa formation, possède les connaissances nécessaires sur la physiologie, la biologie et la nutrition pour prendre en charge un sportif. C'est le professionnel de santé le plus disponible et qui possède une réelle proximité avec ses patients. Il sera donc un interlocuteur privilégié pour le sportif. C'est pourquoi, il doit parfaitement connaître les produits qu'il est amené à dispenser et leurs intégrations aux divers objectifs du sportif.

De plus, les conseils apportés au sportif seront primordiaux pour prévenir les différentes dérives liées au sport tels que les troubles du comportement alimentaire et le dopage.

MOTS CLÉS

PHARMACIEN, SPORTIF, NUTRITION, COMPLÉMENT ALIMENTAIRE, CONSEIL, DOPAGE

JURY

PRÉSIDENT : Mr Jean-Marie BARD, Professeur de Biochimie Générale et Clinique
Faculté de Pharmacie de Nantes

DIRECTEUR : Mr Alain PINEAU, Professeur de Toxicologie
Faculté de Pharmacie de Nantes

ASSESEUR : Mme Cassandra JOVENIN, Pharmacien d'officine
6 avenue de la République, 26700 Pierrelatte

Adresse de l'auteur : 25 rue de la Mélisse, 49120 Chemillé