



HAL
open science

Le sportif à l'officine : quelle place pour le pharmacien dans le conseil nutritionnel et l'utilisation des compléments alimentaires ?

Camille Martinez

► To cite this version:

Camille Martinez. Le sportif à l'officine : quelle place pour le pharmacien dans le conseil nutritionnel et l'utilisation des compléments alimentaires ?. Sciences pharmaceutiques. 2017. dumas-01993024

HAL Id: dumas-01993024

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01993024>

Submitted on 24 Jan 2019

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

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

Thèse pour le

Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie

Soutenue publiquement le 27 juin 2017

Par Camille MARTINEZ

**Le sportif à l'officine :
quelle place pour le pharmacien dans le conseil
nutritionnel et l'utilisation des compléments
alimentaires ?**

Jury

Président : Catherine MULLIÉ-DEMAILLY, Maitre de conférences

Membres : Annabelle FRANÇOIS, docteur en pharmacie

Domitille CHEVALIER, docteur en pharmacie

Thèse n° 3126

Remerciements

À ma directrice de thèse

Mes remerciements vont tout d'abord à ma directrice de thèse, Madame Catherine MULLIÉ-DEMAILLY pour vos relectures et conseils portés sur mon travail, ainsi que votre disponibilité et efficacité qui m'ont permis de garder une juste liberté d'expression sur un sujet d'intérêt commun.

Aux membres de mon jury

Mesdemoiselles Domitille CHEVALIER et Annabelle FRANCOIS, qui, par leur présence, démontrent tout l'intérêt qu'elles portent à mon travail.

À mes parents

Monsieur et Madame Philippe et Catherine MARTINEZ, je vous remercie de m'avoir permis de devenir imparfaite dans ce chemin tout tracé de l'excellence. Pour votre soutien et votre amour qui m'ont aidée à réussir, non seulement mes études, mais également à commencer à m'accomplir, je vous suis à jamais reconnaissante.

À mon frère

Merci à Zaza, Alexandre MARTINEZ, d'avoir joué avec moi aux petites voitures, aux zinzins de l'espace et à Fantômette dans le jardin et, de par un humour fin et aiguisé, de continuer à le faire aujourd'hui.

À ma famille

Je remercie mes grands parents, Alain et Andrée MARTINEZ, d'avoir toujours été présents dans ma vie et de m'avoir permis d'appartenir à une jeunesse consciente, puisque ne pas transmettre reviendrait à geler l'avenir.

À Parrain et Caro, avec qui je partage mes souvenirs d'enfance les plus beaux, merci d'être présents aujourd'hui. J'espère que Rose et Lalie seront le début d'un nouveau quatuor « élargi ».

À Jimmy

Lié par un amour complice et cet intérêt mutuel que l'on se porte, je te remercie d'avoir cru en moi et de m'avoir toujours soutenue, ce qui m'a entraînée à ne jamais perdre foi en ce que je fais et convaincue de traiter un sujet auquel tu pourrais être sensible.

À mes amis

À mes amis d'enfance, avec qui j'ai longtemps grandi, me suis construite dans ce monde et chez qui se retrouve un petit bout de moi. Je pense notamment à la délicatesse du franc parler de Perrine et aux incertaines convictions toujours en quête de renouveau de Camille. Merci également à Justine de rester à jamais mon éternelle jeunesse, même si nous n'avons plus la chance de la vivre ensemble aujourd'hui.

À mes amies et professeurs de danse, avec qui j'ai appris la rigueur et le partage d'une passion commune au travers de tous ces tableaux qui ont pris vie grâce à nos pas. Merci à Annab', Mégane, Fanny & Fanny, Aline, Béa, Thérèse, Angélique, Annabelle, Flora, Sophie, Steph, Camille, Aude, Clémentine, Héloïse et à Christine.

À mes copines de la faculté, avec qui, bien plus qu'un métier, j'ai humainement beaucoup appris. Merci à Marine pour ton empathie, à Sixtine pour ton côté détaché attachant, à Clotilde pour ton rire communicatif et à Domitille pour ta fibre maternelle, je ne parle pas uniquement ta capacité à cuisiner, mais aussi de ta capacité rassurante de penser à l'autre avant tout. Merci pour tous les moments que nous avons passés ensemble, à rire, à pleurer, à douter, à stresser et surtout à partager. Je remercie également Alice pour cette expérience grandissante que nous avons vécue ensemble au Québec et pour tous ces souvenirs qui resteront inoubliables.

Au terme de ce parcours, je remercie enfin celles et ceux qui me sont chers mais que j'ai quelque peu délaissés ces derniers mois pour achever cette thèse mais dont les attentions et encouragements m'ont accompagnée tout au long de ces années.

À mes collègues

Je remercie Loic DEMOULIN d'avoir eu confiance en moi, en m'accueillant pour réaliser mes stages et travailler dans ton officine depuis ma 2^{ème} année d'étude. Cette expérience m'a appris beaucoup sur le métier de pharmacien, mais aussi qu'il était possible d'être efficace, sans être dénué d'humour. Dans cette continuité, je remercie Hélène CAM-DIOGENE et Annabelle FRANCOIS pour m'avoir coachée, surtout en 6^{ème} année, et grâce à qui j'ai en partie pu obtenir mon diplôme. Merci également à Monsieur LOISIER pour l'autonomie qu'il me laisse dans l'exercice de ma profession, ce qui rend mon entrée dans le monde professionnel agréable.

Enfin, je garde une pensée pour tous mes collègues : Maïté, Dorothée, Karine, Anne-Sophie, Christine, Marie-Christine, Ambroise, Rémi, Delphine, Amandine et Emilie. Liés par le travail, nous avons appris à nous entraider collectivement et à nous apprécier.

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| Introduction | 11 |
| PARTIE 1 - Physiologie des activités physiques et sportives..... | 13 |
| 1. Composition corporelle et dépenses énergétiques | 14 |
| 2. Métabolisme énergétique | 15 |
| 2.1. La bioénergétique des activités physiques | 15 |
| 2.1.1. Renouvellement de l'énergie..... | 16 |
| 2.1.2. Mécanismes de production de la force musculaire | 17 |
| 2.2. Les filières énergétiques..... | 19 |
| 2.2.1. La voie anaérobie alactique..... | 20 |
| 2.2.2. La voie anaérobie lactique..... | 23 |
| 2.2.3. La voie aérobie | 27 |
| 2.2.4. Synthèse des différentes filières énergétiques..... | 30 |
| 3. Optimisation de l'entraînement..... | 31 |
| 3.1. Puissance de l'exercice..... | 31 |
| 3.2. Détermination des paramètres individuels | 33 |
| 3.3. Perfectionnement de l'entraînement..... | 33 |
| 3.3.1. Zones de travail | 33 |
| 3.3.2. Objectifs des entraînements en fonction du sport pratiqué | 34 |
| 3.3.3. Méthodes d'entraînement et élaboration d'un programme d'entraînement | 35 |
| 3.3.4. Limites de l'entraînement..... | 37 |
| 4. Quelles conséquences cette connaissance physiologique des activités physiques peut-elle avoir sur le quotidien du sportif ?..... | 37 |
| PARTIE 2 - Nutrition, micronutrition et hydratation du sportif | 38 |
| 1. Les besoins nutritionnels généraux | 39 |
| 2. La balance énergétique du sportif | 39 |
| 2.1. Les dépenses..... | 39 |
| 2.2. Les apports | 40 |
| 2.3. Variation volontaire de la balance énergétique : Cas particulier du régime restrictif chez les sportifs de force à catégorie de poids | 41 |
| 3. Les standards alimentaires..... | 41 |
| 3.1. Les macronutriments | 41 |
| 3.1.1. Les glucides..... | 42 |
| 3.1.2. Les lipides | 45 |
| 3.1.3. Les protéines | 47 |
| 3.2. La micronutrition..... | 51 |
| 3.2.1. Les vitamines..... | 52 |
| 3.2.2. Les minéraux et oligoéléments..... | 56 |
| 3.2.3. Le stress oxydatif | 59 |
| 3.2.4. Compléments oligo-minéralo-vitaminiques sur le marché | 61 |
| 3.2. L'hydratation du sportif | 64 |
| 3.2.1. Effets sur la performance | 65 |
| 3.2.2. Apport hydrique du sportif..... | 66 |
| 3.2.4. Les boissons de l'effort | 67 |
| 4. Programme de nutrition..... | 68 |

| | |
|--|-----|
| PARTIE 3 - Les compléments alimentaires et ergogènes : que sont-ils ? Comment sont-ils réglementés ? Quelle place prennent-ils dans le marché pharmaceutique ? | 69 |
| 1. Que sont-ils ?..... | 70 |
| 1.1. Les acides aminés branchés..... | 70 |
| 1.2. L'arginine, l'ornithine, la citrulline et le glutamate | 72 |
| 1.4. La créatine | 78 |
| 1.5. Protéines du petit lait (lactosérum) et la caséine | 79 |
| 1.6. Les composés énergisants | 80 |
| 1.6.1. La caféine | 80 |
| 1.6.2. La taurine..... | 82 |
| 1.7. Le coenzyme Q10..... | 83 |
| 1.8. Les produits naturels | 84 |
| 2. Réglementation des compléments alimentaires | 86 |
| 3. Enquête sur l'utilisation des compléments alimentaires en pharmacie | 88 |
| 3.1. Méthodologie | 88 |
| 3.2. Résultats et discussion..... | 88 |
| 3.2.1. Caractéristiques démographiques..... | 88 |
| 3.2.2. Caractéristiques des pratiques sportives..... | 89 |
| 3.2.3. Caractéristiques de la consommation des compléments alimentaires..... | 91 |
| 3.2.4. Caractéristiques des achats de compléments alimentaires | 97 |
| Conclusion..... | 101 |
| Bibliographie..... | 103 |
| Annexes..... | 112 |

Liste des abréviations

AA : acides aminés

AALac : aérobie alactique

ADP : adénosine diphosphate

AETQ : apports énergétiques totaux quotidiens

AG : acides gras

AGI : acide gras insaturé

AGMI : acide gras monoinsaturé

AGPI : acide gras polyinsaturé

AGS : acide gras saturé

AMP : adénosine monophosphate

ANC : apports nutritionnels conseillés

ANSES : agence nationale Sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

ATP : adénosine triphosphate

BCAA : acides aminés branchés ou ramifiés (Branched Chain AminoAcids, en anglais)

BPM : battements par minute

CoA : acétyl Coenzyme A

CPK : créatine phosphokinase

CTE : chaîne de transport des électrons

DET : dépense énergétique totale

DGCCRF : direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes

FAD : flavine adénine di nucléotide

G6P : glucose 6 phosphate

H⁺ : ion hydrogène

IG : index glycémique

Kcal : kilocalories

kW : kilowatt

LDH : lactate déshydrogénase

MC : masse corporelle

MG : masse grasse

MK : myokinase

MM : masse maigre

NAD : nicotinamide adénine dinucléotide

OMS : organisation mondiale de la santé

PCr : phosphorylcréatine, créatine phosphate, phosphagène

PMA : puissance aérobie maximale

SNC : système nerveux central

VAM : vitesse aérobie maximale

VNR : valeur nutritionnelle de référence

VO_{2 max} : débit maximal de production d'énergie par la voie oxydative

Liste des tableaux

Tableau 1. Réserves énergétiques de l'organisme humain.

Tableau 2. Une logique de progression pour un débutant en cardio-training.

Tableau 3. Apports énergétiques observés chez des sportifs d'endurance, de force ou pratiquant des sports collectifs.

Tableau 4. Ration quotidienne chez la population générale et les sportifs d'endurance hors période de compétition.

Tableau 5. Les 3 grandes classes d'aliments en fonction de leur index glycémique.

Tableau 6. Les aliments riches en AG classés en fonction de leur degré d'insaturation.

Tableau 7. Classification des viandes en fonction de leur teneur en lipides et de leurs proportions en AGS et AGI.

Tableau 8. Estimation de la qualité biologique des protéines de divers aliments protéiques.

Tableau 9. ANC en vitamines liposolubles chez l'adulte.

Tableau 10. ANC en vitamines hydrosolubles chez l'adulte.

Tableau 11. ANC en oligoéléments chez l'adulte.

Tableau 12. Statut des Français en antioxydants.

Tableau 13. Composition détaillée du Berocca, de l'Azinc, de l'Isoxan endurance et force, 33 vitamines & antioxydants STC.

Tableau 14. Compléments alimentaires à base de BCAA disponibles en pharmacie (liste non exhaustive).

Tableau 15. Compléments alimentaires à base de carnitine disponibles en pharmacie (liste non exhaustive).

Tableau 16. Compléments alimentaires à base de créatine disponibles en pharmacie (liste non exhaustive).

Tableau 17. Teneur en caféine retrouvée dans quelques produits courants.

Tableau 18. Compléments alimentaires à base de caféine/taurine disponibles en pharmacie (liste non exhaustive).

Tableau 19. Les compléments d'origine naturelle les plus communément retrouvés chez le sportif (liste non exhaustive).

Tableau 20. Sports et conditions de pratique.

Tableau 21. Conditions de pratique du sport.

Tableau 22. Notoriété des compléments alimentaires pour sportif en officine.

Tableau 23. Objectifs et effets de la consommation des compléments alimentaire.

Tableau 24. Objectifs et effets de la consommation de compléments alimentaires par catégorie.

Tableau 25. Lieux d'achats et de conseil.

Liste des figures

Figure 1. Structure de l'ATP.

Figure 2. Réplétion des molécules d'ATP au cours de l'exercice en récupération.

Figure 3. Passerelle entre forces chimique et mécanique.

Figure 4. Hydrolyse de l'ATP au sein de la fibre musculaire. Figure 5 : Evolution des concentrations des principaux acteurs de la voie anaérobie alactique en fonction de l'intensité de l'exercice.

Figure 6. Représentation de la voie anaérobie alactique au sein de la fibre musculaire

Figure 7. Amorçage de la glycolyse.

Figure 8. Recyclage du NAD pour pérenniser la glycolyse.

Figure 9. Formation du lactate.

Figure 10. Représentation de la voie anaérobie lactique au sein de la fibre musculaire

Figure 11. Cycle de Krebs.

Figure 12. Représentation de la filière aérobie au sein de la fibre musculaire

Figure 13. Les zones d'endurance et de résistance, délimitées par la PMA et plafonnées par la VO_2 max.

Figure 14. Evaluation des synthèses protéiques totales de l'organisme (A) en fonction de l'oxydation de la leucine (B) chez des athlètes entraînés dans un sport de force et soumis à un régime faible en protéines (LP : 0,9 g/kg/j), modéré (MP : 1,4 g/kg/j) et élevé (HP : 2,9 g/kg/j).

Figure 15. Radicaux libres et systèmes de production antioxydants.

Figure 16. Le cycle de l'urée.

Figure 17. Catégories des sports pratiqués.

Figure 18. Objectif principal de la pratique sportive.

Figure 19. Fréquence de consommation des compléments alimentaires.

Figure 20. Catégorie de compléments alimentaire consommés.

Figure 21. Lieu du conseil.

Introduction

La recherche scientifique, la communication et l'information faite au public en matière d'activité sportive progressant rapidement, le marché des compléments alimentaires visant cette dernière n'a cessé d'augmenter ces derniers temps, tant en terme de chiffre d'affaire qu'en terme de produits disponibles. Le consommateur se trouve face à un nombre important non seulement de substances, de marques ou de combinaisons de compositions possibles, mais également face à une diversité de points de commercialisation de ces produits : pharmacies, magasins diététiques, magasins de sport, salles de sport, grandes surfaces, internet, etc.

Il est compréhensible que les sportifs, amateurs ou confirmés, qui voient arriver sur le marché de plus en plus de produits aux allégations prometteuses et séduisantes, puissent se sentir perdus dans leurs choix.

Comment adapter son alimentation au sport que l'on pratique ? Que manger avant une course ? Quelle boisson utiliser pendant un effort physique ? Comment gagner de la masse musculaire ? Quels compléments alimentaires permettent d'améliorer les performances ? De récupérer plus rapidement ? A quelles normes doivent aujourd'hui répondre ces aides nutritives avant d'être mises sur le marché ? Est-il possible qu'un appui ergogénique puisse améliorer les performances sans être considéré comme « produit dopant » ?

Voici un exemple de questions que peut se poser un sportif lorsqu'il porte un regard sur l'ensemble des produits de la gamme « sport » d'une officine. A partir de cette constatation, il paraît important que le pharmacien ne reste pas muet face à ces interrogations et soit en mesure d'apporter des réponses, ou tout du moins quelques pistes de réflexion.

La performance, terme récurrent dans le langage sportif, peut se définir comme étant une optimisation des fonctions physiologiques ayant répondu favorablement aux adaptations attendues après l'entraînement, et ce quel que soit le niveau sportif de chacun. Lors d'un exercice, l'organisme utilise des voies énergétiques précises qu'il sera intéressant de connaître, et l'entraînement est à l'origine de perturbations physiologiques ponctuelles et contrôlées, qui permettent par la suite au corps de récupérer et d'accroître ses capacités de résistance. Cette adaptation, qui met en évidence le lien entre performance et entraînement optimisé, s'avère variable d'un sportif à l'autre et fonction de la qualité de son entraînement,

de sa récupération, mais également de ses capacités propres, telles que l'environnement et l'hygiène de vie, dont fait partie l'alimentation. Une nutrition optimale des cellules permet à l'organisme de répondre favorablement aux sollicitations de l'entraînement ; ce qui place la nutrition au cœur de la performance cellulaire. L'organisme a également besoin de micronutriments, tels que vitamines, minéraux ou oligoéléments pour transformer les aliments en « carburant ».

Les nutriments et micronutriments agissent ainsi de concert pour assurer le bon fonctionnement de la machinerie cellulaire, ce qui aura pour conséquence une réponse favorable à l'adaptation attendue de l'entraînement et donc une optimisation des performances sportives. Suite cette constatation, la réflexion développée dans ce travail s'intéressera dans un premier temps aux filières énergétiques empruntées par l'organisme au cours de l'effort, puis à quelques méthodes d'entraînement et leurs effets sur la performance, et enfin, aux connaissances que doit maîtriser le sportif à propos de sa nutrition et micronutrition. D'ailleurs, pour ne pas vouer un programme nutritionnel à l'échec, il ne faudra pas faire rimer « régime alimentaire » avec « frustration » ; il s'agira donc d'adapter les choix alimentaires de chacun à son hygiène de vie, à son environnement et à ses besoins physiologiques.

Toutefois, restreindre l'intérêt de la nutrition à ce seul cadre « énergétique » consisterait à occulter l'impact de l'alimentation sur l'état de santé. Connaître les risques de carences auxquels sont exposés les sportifs et leur niveau d'imputabilité sur la baisse de performance paraît être important. Avant que de vouloir améliorer la performance elle-même, notre réflexion sur la nutrition, surtout celle sur la micronutrition, s'orientera également sur les conséquences délétères qu'a une carence sur la santé.

En dernier lieu, une enquête réalisée auprès d'un large public de sportif sera présentée, afin de mieux connaître les habitudes des sportifs sur l'utilisation des compléments alimentaires. Les résultats permettent au pharmacien de mieux visualiser le marché des compléments alimentaires et de placer ses ventes officinales dans cet univers concurrentiel.

Cette réflexion globale des relations pouvant exister entre santé, alimentation et performance sportive permettra au pharmacien de maîtriser quelques bases biochimiques et nutritives. Il pourra ainsi orienter et développer son conseil officinal prodigué au sportif par le biais de fiches conseils élaborées au cours de ce travail et présentées en annexes.

PARTIE 1

Physiologie des activités physiques et sportives

1. Composition corporelle et dépenses énergétiques

L'organisme est une entité qu'il convient de cloisonner pour mieux visualiser et étudier les interactions qui font de lui une unité indivisible. Plusieurs niveaux de modélisation du corps humain ont ainsi été proposés pour expliquer la dépense énergétique nécessaire à son fonctionnement.[1] Le modèle physiologique suggère de compartimenter le corps humain en un ensemble de constituants corporels fonctionnellement liés entre eux, indépendamment de leur localisation anatomique ou de leur nature chimique, et dont la somme des masses respectives constitue la masse corporelle (MC).

Partons du présupposé que le corps humain est un modèle à deux compartiments. Le premier est constitué par la masse grasse (MG) et le second, la masse non grasse ou masse maigre (MM), est composé essentiellement d'eau. Ce dernier contribue pour 25 % de la MC sous forme d'eau extracellulaire (plasmatique et interstitielle), 37 % d'eau intracellulaire, 16 % de protéines et 6 % de minéraux.[2] Il apparaît alors que plus de la moitié de notre masse corporelle totale est composée d'eau.

Dans le modèle tri-compartimental, le capital minéral osseux est distingué de la masse maigre et se compose principalement de cristaux de phosphate de calcium.[3]

La MG est composée de triglycérides essentiellement (à distinguer du tissu graisseux contenant de l'eau) et compose une réserve énergétique variable, atteignant environ 15 % de la MC chez l'homme et 23 % chez la femme [4] ; permettant ainsi un repli d'énergie et une protection contre les chocs thermiques et mécaniques. Chez les sportifs, ce taux est cependant plus bas, jusqu'à atteindre 6 % chez le marathonien. Elle n'a cependant pas de rôle vital, contrairement à la MM dont la perte pourrait représenter un danger vital, et a tendance à augmenter avec l'âge. Une méthode permettant son évaluation est celle de la mesure des plis cutanés, particulièrement utile dans les sports à catégorie de poids et le suivi des athlètes.[5]

La dépense énergétique totale (DET) de l'organisme humain se décompose en trois parties : [2]

- Le métabolisme de base (60 à 75 % de la DET) est fonction de la MM. Il correspond aux dépenses énergétiques minimales pour le bon fonctionnement de l'organisme. Les principaux organes à l'origine de cette dépense sont le foie, le cœur, le cerveau et les reins, qui est, à masse équivalente, de 15 à 40 fois plus importante que celle d'un muscle au repos.

- La thermogénèse (10% de la DET) correspond à l'effet thermique des aliments, c'est-à-dire à l'énergie dépensée pour leur digestion, leur stockage et pour utiliser leur énergie chimique. Cette énergie chimique apportée par les nutriments est ensuite transformée lors d'un effort musculaire en énergie mécanique par le biais de la production d'ATP et s'accompagne d'un dégagement de chaleur. Le coût énergétique de l'utilisation des nutriments est variable en fonction des voies métaboliques empruntées. Certaines substances dites thermogéniques peuvent augmenter la dépense énergétique, comme la caféine, le maté, le thé, le guarana et la nicotine.
- Enfin, l'exercice musculaire (variable, 20 à 25 % de la DET chez un sujet sédentaire, jusqu'à 60 – 70 % chez le sportif d'endurance).

Les dépenses énergétiques peuvent varier chez un même individu ; elles peuvent être modifiées par des états physiologiques particuliers. Elles sont par exemple augmentées lors de réactions inflammatoires, de grossesse ou d'allaitement. Elles peuvent être également influencées par l'exercice physique mais aussi par l'alimentation, stratégie alors primordiale utilisée chez le sportif pour assurer une bonne répartition de ses apports énergétiques journaliers et permettre ainsi d'optimiser ses performances.

2. Métabolisme énergétique

Les filières énergétiques sont une association de réactions biochimiques, anaboliques et cataboliques, concourant au métabolisme énergétique, qui a pour ultime dessein la production d'une énergie utilisable par la cellule. Il convient ici aussi de visualiser le corps humain comme une unité indivisible en considérant qu'il n'y a jamais sollicitation isolée d'une seule de ces filières, mais seulement une part d'utilisation différente, dépendant à la fois de la durée de l'effort physique et de l'individu.

2.1. La bioénergétique des activités physiques

La bioénergétique s'intéresse aux transferts d'énergie du métabolisme énergétique, représentés par des filières énergétiques que le corps utilise pour produire la molécule constituant la seule forme d'énergie utilisable par les protéines contractiles du muscle : l'Adénosine Triphosphate (ATP) qui provient de l'énergie chimique contenue dans les nutriments.

Les voies métaboliques sont au nombre de trois. Elles constituent un ensemble de réactions difficilement isolables avec, parfois, l'une de ces voies métaboliques qui prend une part dominante dans la régénération de l'ATP.

2.1.1. Renouvellement de l'énergie

L'ATP est constitué de trois molécules : l'adénine, un ribose et un groupement phosphate, comme schématisé dans la figure 1.

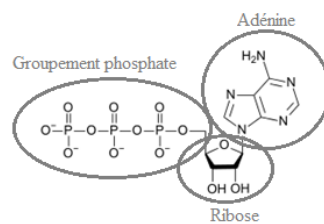


Figure 1. Structure de l'ATP.[6]

Elle est soluble dans les solutions aqueuses de pH compris entre 6,8 et 7,4.

C'est une coenzyme qui permet, au cours des réactions enzymatiques auxquelles elle participe, la libération d'énergie alors contenue dans l'une de ses liaisons phosphate, par réaction d'hydrolyse.

La phosphorylation, réaction inverse s'effectuant de manière continue, va permettre sa resynthèse. L'organisme n'ayant que très peu de réserve en ATP (environ 5 mmol/kg), ce renouvellement de son stock paraît primordial et va alors constituer l'un des objectifs de l'entraînement d'un sujet sportif. La figure 2 schématise les voies de régénération de l'ATP détaillées dans le paragraphe 2.2.

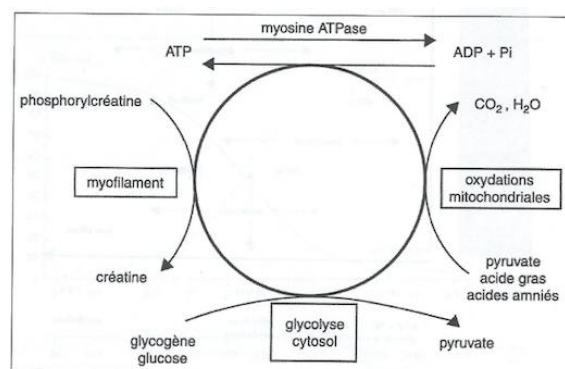


Figure 2. Réplétion des molécules d'ATP au cours de l'exercice en récupération.[7]

2.1.2. Mécanismes de production de la force musculaire

La force musculaire prend son origine dans la tension générée entre l'actine et la myosine, myofilaments situés au sein des sarcomères des fibres musculaires des muscles striés.[6] La passerelle entre l'énergie chimique renfermée dans les molécules d'ATP et l'énergie musculaire développée par les muscles, représentée par la figure 3, s'effectue selon un processus qui se décompose comme suit :

Phase 1 : Le calcium, provenant du message nerveux, active le site de réception des têtes de myosine à l'actine.

Phase 2 : L'ATP permet le désancrage de l'actine et de la tête de myosine, qui vient se fixer plus loin sur l'autre site libéré précédemment par le calcium.

Phase 3 : Une fois la fixation effectuée, l'ATP lie le magnésium (composant en lien direct avec le transport de molécule phosphatée) et réagit avec les myosines ATPases pour basculer les têtes de myosine, ce qui tracte l'actine.

Phase 4 : La molécule d'ATP est alors hydrolysée, ce qui libère un phosphate inorganique et laisse sur place une molécule d'ADP qui s'attache différemment aux protéines qui l'entourent. Cette réaction chimique permet le mouvement mécanique.

Phase 5 : Une nouvelle molécule d'ATP se fixe sur la tête de myosine pour éviter qu'une rigidité s'installe (*Rigor mortis*).

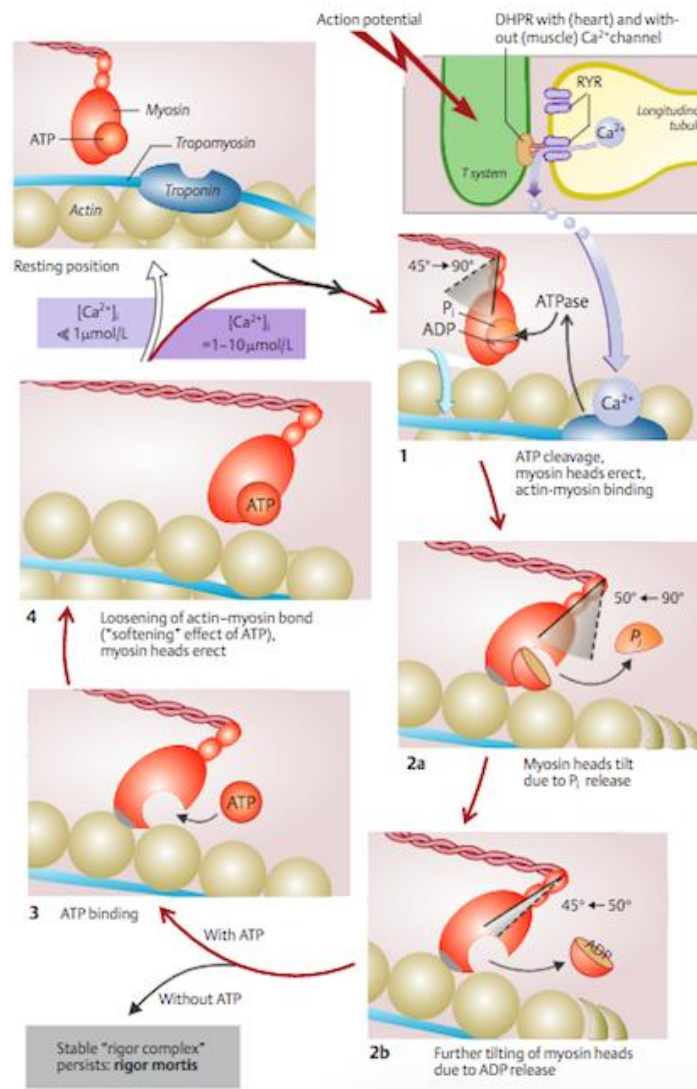
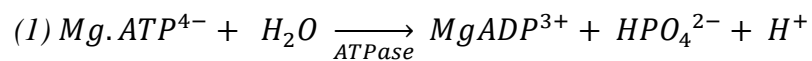


Figure 3. Passerelle entre force chimique et mécanique.[8]

L'hydrolyse de l'ATP, réaction d'acidose, permet le passage de l'énergie chimique à l'énergie mécanique et s'écrit de la manière suivante (1):



Afin de mieux visualiser ce qui se passe au sein de la fibre musculaire, la figure 4 reprend cette réaction d'hydrolyse de l'ATP à l'origine du mouvement. Cette figure initiale sera complétée avec le détail des mécanismes énergétiques contribuant à la contraction musculaire à mesure qu'ils seront décrits dans le texte.

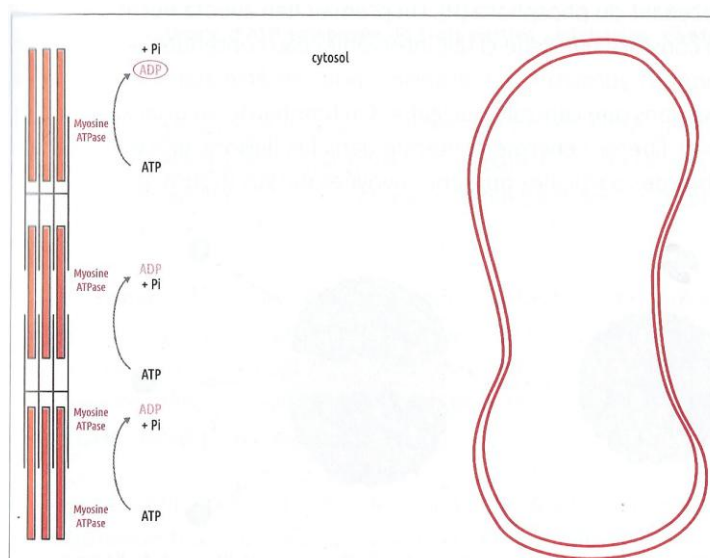


Figure 4. Hydrolyse de l'ATP au sein de la fibre musculaire.[9]

Le rectangle représente la fibre musculaire et la forme sur la droite, la mitochondrie.

2.2. Les filières énergétiques [7][10]

L'énergie qu'apporte l'alimentation ne se stocke pas sous forme d'ATP car son poids moléculaire est trop élevé en comparaison de l'énergie qu'il est possible d'en extraire. Pour la stocker, l'organisme utilise d'autres molécules, comme la Phosphoryl Créatine (PCr), le glycogène ou les acides gras. Le tableau 1 compare les différents substrats en fonction de leur poids moléculaire en relation avec l'énergie qu'ils peuvent fournir. Les triglycérides se révèlent être le substrat le plus rentable en terme d'énergie fournie. Il en ressort également que la majorité des réserves en énergie est représentée par le glycogène et les triglycérides. Leur phosphorylation fournit à la myofibrille les groupements phosphates nécessaires à la transformation de l'ADP en ATP.

Tableau 1. Réserves énergétiques de l'organisme humain.[7]

| Substrats | Tissu frais ($\mu\text{mol.g}^{-1}$) | Energie libérée par mole de substrat (kJ) | Energie disponible ($\mu\text{mol} \sim \text{P.g}^{-1}$) tissu frais |
|-------------------------------------|--|---|---|
| ATP | 6 | 44 | 5,4 (1) |
| PC | 15 | 58 | 9,9 (2) |
| Glycogène (résidus glucosyles) | 121 | 2.900 | 4.350 |
| Triglycérides (ex. le tripalmitate) | 9 | 29.300 | 3.510 |
| Acides aminés | 36 | 1.870 | 800 |

(1) 90% ATP, 10% ADP et AMP ; (2) 67% PC, 33 % créatine

Comme l'aptitude à effectuer une activité sportive est intimement liée aux réserves en substrats énergétiques et sachant que la contraction musculaire se réalise par le biais de l'hydrolyse de la molécule d'ATP, il va être intéressant dans cette partie d'apprécier les quantités de substrats disponibles pour une conversion en ATP et les parts respectives de chacune des voies métaboliques issues de ces substrats dans la fourniture de l'énergie.

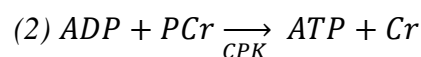
Ces réactions de métabolisation aboutissant à la resynthèse de l'ATP se réalisent à la fois dans le cytosol et les mitochondries des cellules hépatiques et musculaires principalement. Nous allons maintenant détailler les 3 voies métaboliques classiquement décrites pour la resynthèse d'ATP.

2.2.1. La voie anaérobie alactique

Ce système présente une puissance très élevée (4 à 12 kW ou 140 à 200 mL/min/kg en équivalent de consommation d'oxygène) et de courte durée : de 3 à 5 secondes à puissance maximale, diminuant proportionnellement jusqu'à épuisement (en 30 secondes environ).

Dès que le muscle est mobilisé, la concentration en ATP diminue rapidement (1 à 2 secondes de réserves environ). Le premier rempart pour palier cette diminution rapide, intervenant quelle que soit l'intensité du travail musculaire, est la PCr musculaire qui représente une source d'énergie disponible immédiatement pour synthétiser de nouveau l'ATP : la Créatine PhosphoKinase (CPK) permet la récupération de la partie phosphate de la PCr et ainsi sa fixation à une molécule d'ADP pour produire l'ATP selon la réaction (2). La figure 5 nous montre l'évolution des concentrations de ces principaux acteurs de la voie anaérobie alactique en fonction de l'intensité de l'effort musculaire.

La concentration en PCr varie suivant le type de fibre musculaire. Elle est ainsi plus abondante dans les muscles à mobilisation rapide, comme par exemple les biceps brachiaux, les grands pectoraux, les jumeaux internes et externes, etc.



L'autre particularité de cette réaction est qu'elle est consommatrice d'hydrogène, ce qui permet le maintien de l'homéostasie acido-basique au sein du cytosol (3). Cette réaction

consomme un ion H^+ , ce qui maintient le pH du cytosol entre 6,8 à 7,4, rendant l'environnement propice à la bonne solubilité de l'ATP dont le stock vient d'être renouvelé.

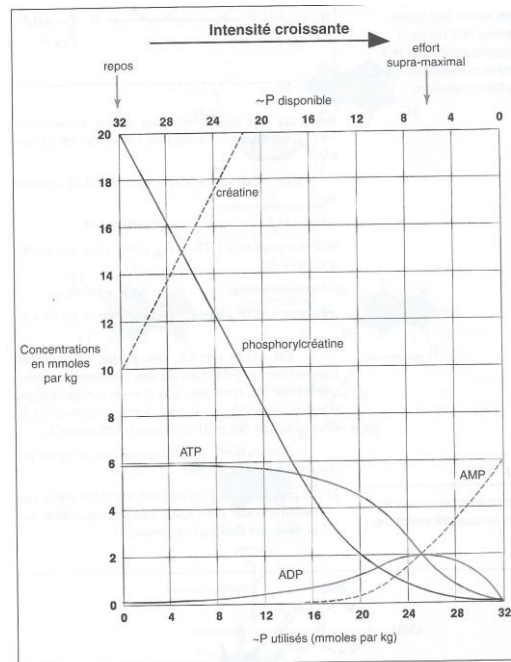
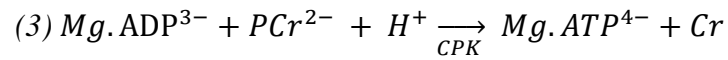
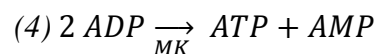


Figure 5. Evolution des concentrations des principaux acteurs de la voie anaérobie alactique en fonction de l'intensité de l'exercice.[7]

Ce recyclage d'énergie peut également se réaliser par le biais de deux molécules d'ADP qui, en présence de l'enzyme myokinase (MK), forment une molécule d'ATP et une d'AMP (4). Il est important de noter que la MK est également l'enzyme précurseur de la glycolyse anaérobie.



Contrairement à ce que l'on pourrait penser, ces deux mécanismes, alors rapidement mobilisables, ne se limitent pas aux premières minutes de la contraction musculaire et continuent tout au long de l'exercice. Les taux sanguins de créatine augmentent pendant l'effort, en fonction du flux local d'ATP et de la demande, pour retrouver une valeur basale environ 10 à 12h après l'arrêt de l'exercice.

Les concentrations de CPK plasmatique pendant et après l'effort sont fonctions du type d'exercice et de sa durée. Les exercices violents (boxe, sport de combat) ou très prolongés (marathon, cyclisme) augmentent sa concentration plasmatique du fait de la lyse et de la modification de la perméabilité des fibres musculaires. La concentration retourne à son état basal 3 jours après l'arrêt de l'exercice.

Les quantités de PCr présentes dans le muscle sont limitées (90 $\mu\text{mol/g}$ muscle sec) et s'épuisent rapidement, ce qui constitue le facteur limitant de cette filière énergétique.

De plus, il faut savoir qu'un muscle sous occlusion, c'est-à-dire privé d'oxygène pour alimenter les mitochondries alors chargées de générer l'ATP, ne peut resynthétiser la PCr ; l'énergie présente lors de ces premières contractions provient donc également du métabolisme oxydatif des glucides et des acides gras et le système n'est pas en anaérobie pure à proprement parler. Ainsi, plus le système aérobie sera performant, plus le système anaérobie alactique le sera aussi.

La locution « voie anaérobie alactique » paraît donc injustifiée puisque la CPK et la MK ne font que mettre à disposition du muscle de l'ATP ayant pour origine une des autres voies (aérobie ou anaérobie lactique) ; ainsi, elles ne créent pas à proprement parler d'énergie à partir d'un substrat. De plus, il s'agit de deux réactions indépendantes, ce qui ne constitue pas au sens biochimique du terme une voie métabolique qui ne consiste pas habituellement en une seule réaction.

Ce système ne constitue qu'une mise en réserve de phosphate à haute énergie, immédiatement disponible sous forme d'ATP lors de la contraction musculaire mais d'autres réactions vont également fournir rapidement cette énergie ; comme la glycolyse ou les réactions de la chaîne respiratoire.

Il en ressort que les exercices de force sont capables d'augmenter les réserves en PCr, mais ce phénomène ne semble pas être un facteur d'amélioration des performances. Cependant, il semble que le développement des cellules musculaires de type glycolytique (riches en CPK) et utilisatrices de ce système soit à l'origine d'une modification des capacités physiques du muscle.

Il paraît cependant judicieux de prévenir du risque d'une élévation trop importante de CPK après un effort physique en adoptant une bonne hydratation, alimentation et des méthodes

d'entraînement adaptées. En effet, cette élévation pourrait conduire à une rhabdomyolyse, résultat d'une demande excessive d'énergie dépassant les possibilités d'apport en oxygène, qui pourrait mettre en jeu le pronostic vital par l'apparition d'une hyperkaliémie brutale puis d'une insuffisance rénale aiguë, entre autres.

Pour finalement visualiser les mécanismes de la voie anaérobie alactique au sein du cytosol de la cellule musculaire, la figure 6 complète la figure 4 précédemment expliquée.

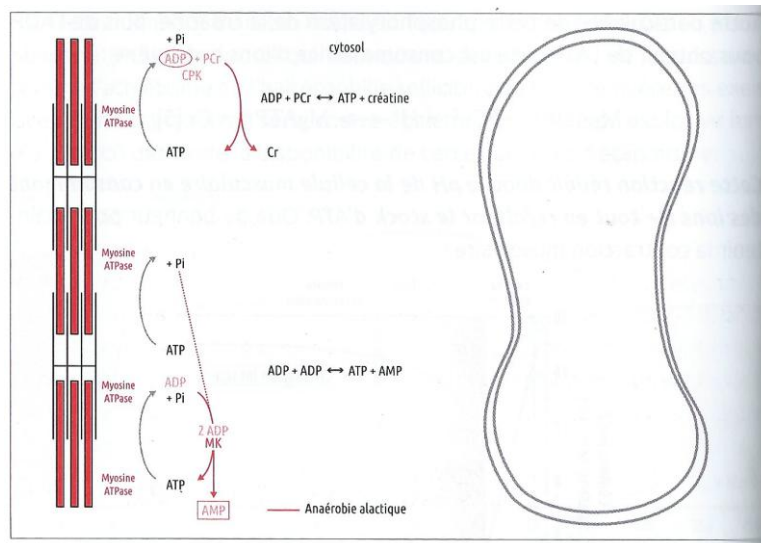
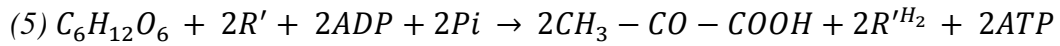


Figure 6. Représentation de la voie anaérobie alactique au sein de la fibre musculaire.[9]

2.2.2. La voie anaérobie lactique

Le délai d'intervention du système anaérobie lactique est assez rapide, mais efficace à partir de 10 secondes. Il permet d'atteindre une puissance élevée (3 à 8 kW ou 80 à 120 mL/min/kg en équivalent de consommation d'oxygène) pendant 20 à 40 secondes et présente une capacité de 2 à 3 minutes.

Ce système met en jeu la glycolyse, qui commence dès le début de l'exercice musculaire, et aboutit à la dégradation du glucose en pyruvate, mis en avant dans la réaction (5) et dont la signification biochimique fondamentale est une déshydrogénation, correspondant à une oxydo-réduction qui nécessite un accepteur ou transporteur de protons et d'électrons symbolisé R' (état oxydé).



Sa sollicitation est favorisée par les produits de dégradation de l'ATP (comme l'ADP, l'AMP ou encore le calcium), cofacteurs des enzymes actives dans la glycolyse. La glycolyse est réalisable à partir du glucose circulant mais aussi à partir des stocks de glycogène cellulaire, notamment musculaire ou encore hépatique via la glycogénolyse, deuxième réaction importante de ce système.

Ces deux réactions n'ont pas le même rendement : la glycogénolyse produit 3 ATP alors que la glycolyse en produit 2. En effet, le produit de dégradation de la glycogénolyse, le glucose-6-phosphate (G6P), s'obtient directement, sans consommation d'un ATP, étape indispensable à l'obtention de ce même G6P à partir du glucose sanguin. Ceci s'explique par le fait que le glycogène contient déjà un groupement phosphate au sein de sa structure, il représente donc une forme énergétique active ; alors que le glucose circulant doit être activé par cette adjonction d'un groupement phosphate pour rentrer dans le processus de glycolyse.

La figure 7 nous représente de manière simplifiée cet engagement dans la glycolyse qui se fait plus rapidement à partir du glycogène à l'aide de sa dégradation en glucose-1-phosphate (G1P) possédant déjà un groupement phosphate, pour former ensuite le G6P ; alors que le glucose circulant doit subir une étape de phosphorylation une fois inséré dans la cellule par les transporteurs GLUT 4 pour former ce même G6P.

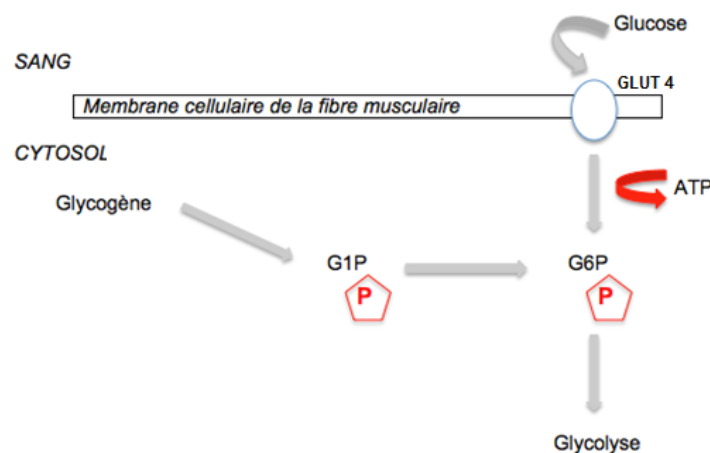


Figure 7. Amorce de la glycolyse musculaire.[9]

L'autre cofacteur indispensable au bon fonctionnement de cette voie, le Nicotinamide Adénine Dinucléotide (NAD), permet le maintien de l'homéostasie de la cellule lors de la glycolyse. Son recyclage s'effectue par réaction d'oxydoréduction. Ainsi, les ions H^+ , formés

au cours de la glycolyse, n'augmentent pas l'acidité intracellulaire par leur libération au sein de la cellule musculaire et l'énergie récupérée ne sera pas immédiatement consommée. Le NAD permet de libérer une première partie de l'énergie en récupérant les ions H^+ et en produisant l'ATP.

Une fois ces ions H^+ récupérés via l'oxydation, ils sont acheminés vers les mitochondries pour être utilisés et le NAD est alors de nouveau disponible pour récupérer de nouveaux ions H^+ (Figure 8, A). Ce renouvellement mitochondrial s'effectue au travers des navettes glycérol-3-phosphate et de la flavine adénine nucléotide, à condition que l'oxygène arrive en quantité suffisante dans la cellule, ce qui constitue la condition pour entrer en filière aérobie : le fonctionnement de la glycolyse en anaérobie semble donc être l'élément déclencheur de la filière aérobie.

Le facteur limitant le rendement de ce travail cellulaire est le nombre restreint de protons apportés par le NAD que la mitochondrie peut prendre en charge par seconde, puisqu'il est fonction de la vitesse de travail des enzymes mitochondriales y siégeant et fonctionnant en aérobie.

Pour éviter que la glycolyse ne s'arrête en absence d'oxygène, les NAD vont alors restituer leurs H^+ aux pyruvates, produits de dégradation finaux de la glycolyse, et former ainsi des lactates *via* une nouvelle oxydation faite avec l'enzyme lactate deshydrogénase (LDH) (Figure 8, B).

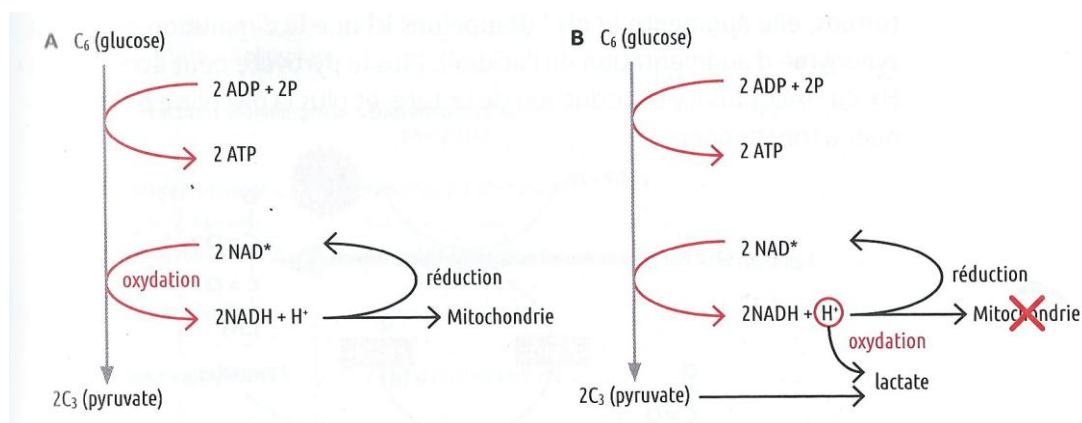


Figure 8. Recyclage du NAD pour pérenniser la glycolyse.[9]

Le pyruvate joue alors le rôle d'accepteur de protons et il y a finalement formation de 2 molécules de lactate, ce qui permet au NAD d'œuvrer une nouvelle fois dans le mécanisme de glycolyse en empêchant son blocage et la potentielle accumulation de NADH₂ intra cellulaire.

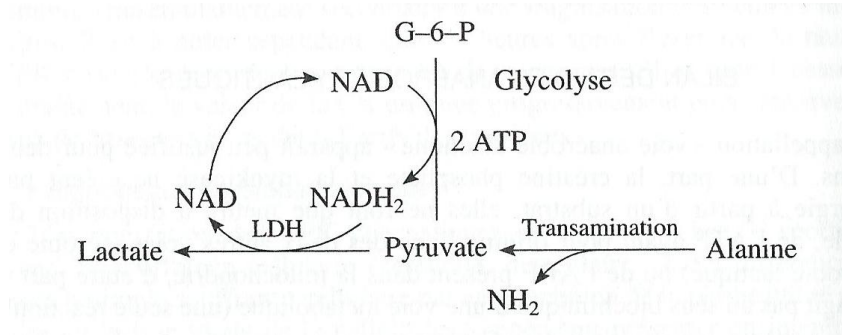


Figure 9. Formation du lactate.[11]

Cette réaction (figure 9) est réversible : le lactate, principal produit de la filière anaérobie lactique, peut à tout moment redevenir pyruvate pour lui-même être utilisé dans la filière aérobie.

Il est important de noter qu'à cette étape, il y a production de lactate et non d'acide lactique, qui est issu de la fermentation lactique qui se déroule après la glycolyse ; cette réaction est ici alcalinisante.

La production de lactate n'est pas synonyme d'augmentation de l'acidité dans la cellule et n'est donc pas une limite à la performance mais le témoin de l'efficacité et de la pérennité de la glycolyse : elle montre la capacité à repousser le moment de l'arrêt de l'exercice, c'est à dire celui où l'acidose métabolique serait trop élevée pour que les enzymes puissent continuer de fonctionner correctement au sein de la fibre musculaire.

La filière anaérobie désigne ainsi le fait qu'une partie du pyruvate ne va pas entrer dans la mitochondrie pour devenir le combustible qui fera intervenir l'oxygène comme ultime accepteurs d'ions H⁺ à la fin du processus de dégradation. Il devient accepteur de protons en se combinant avec les ions H⁺ provenant du NAD pour donner du lactate. Le NAD se trouve donc renouvelé, ce qui pérennise la glycolyse.

Le facteur limitant de cette filière est la capacité des LDH permettant le passage du pyruvate au lactate.

La figure 10 représente les mécanismes de la voie anaérobie lactique au sein du cytosol de la cellule musculaire, en complétant les figures 4 et 6 précédemment détaillées.

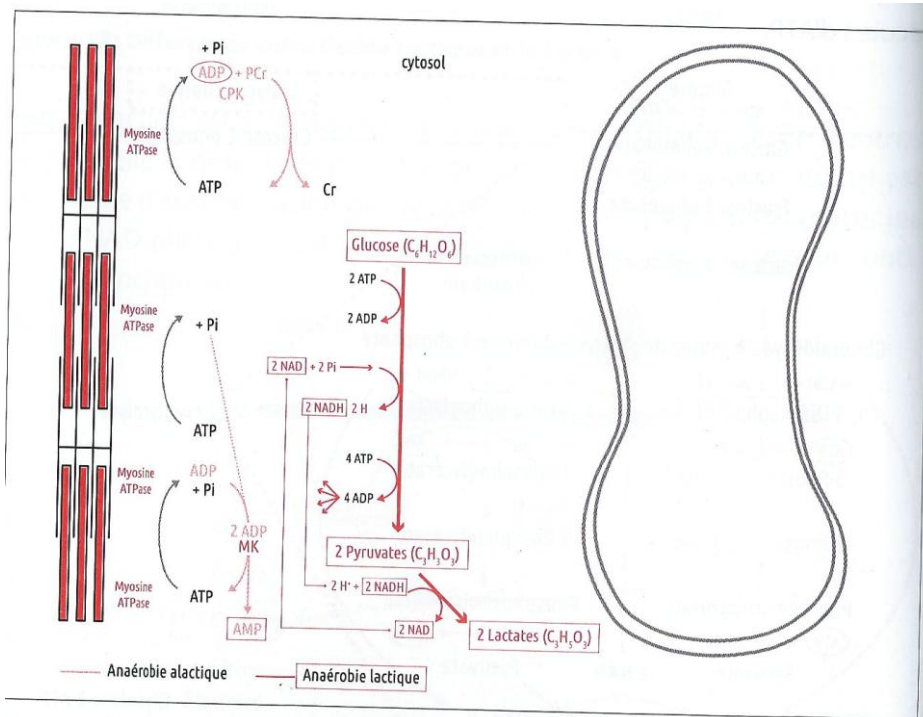


Figure 10. Représentation de la voie anaérobie lactique au sein de la fibre musculaire.[9]

2.2.3. La voie aérobie

La filière aérobie, impliquant l'oxygène dans ses réactions chimiques, peut utiliser plusieurs substrats comme les glucides ou les lipides, mobilisés selon l'intensité de l'exercice, mais aussi les protéines.

Le délai d'intervention de cette filière est tardif. Elle est efficace en 2 à 3 minutes, même si les réactions oxydatives se font en permanence. La puissance développée par cette voie est plus faible que celle des deux autres systèmes (0,8 à 1,7 kW ou 45 à 85 mL/min/kg en équivalent de consommation d'oxygène). Elle est atteinte pendant 4 à 8 minutes (6 minutes en moyenne), mais sa capacité dépend du pourcentage de VO_2 max du sportif, notion expliquée dans le paragraphe 3.1, qui est une donnée importante pour les sportifs pratiquant un sport d'endurance.

C'est dans un premier temps l'entrée du pyruvate dans la mitochondrie qui marque l'engagement dans cette filière : le glucose est en effet le premier substrat utilisé par cette voie pour fournir l'énergie. Le pyruvate est transformé en acétyl-CoenzymeA (CoA) pour entrer dans le cycle de Krebs et subir une suite de 8 réactions chimiques (Figure 11).

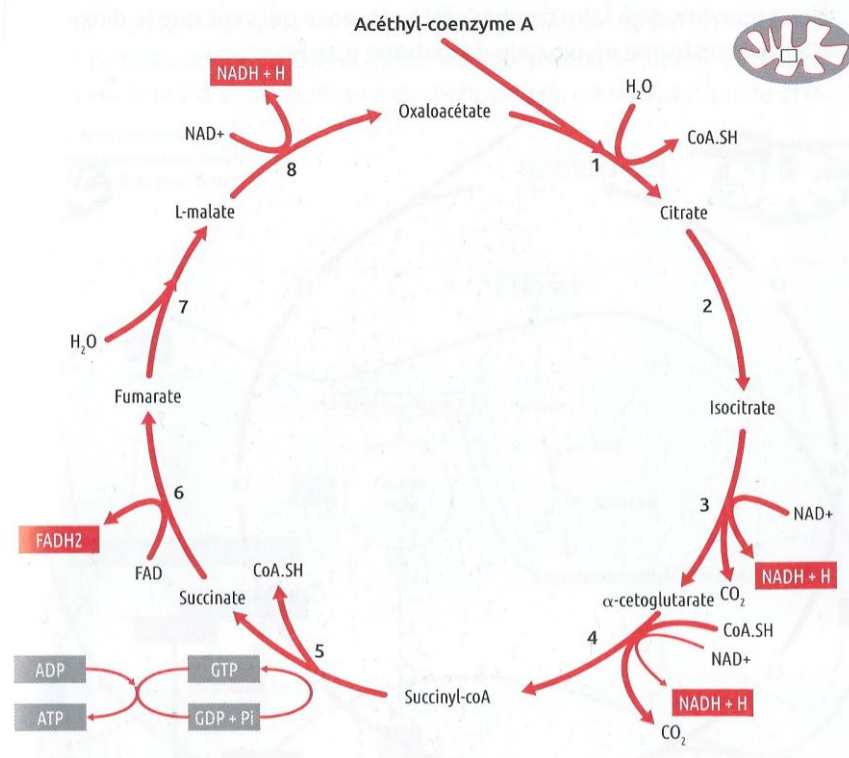


Figure 11. Cycle de Krebs.[9]

Les autres substrats aboutissant à la production de l'acétylCoA prêt à entrer dans le cycle de Krebs sont :

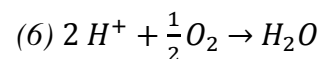
- Les triglycérides stockés dans le tissu adipeux et les fibres musculaires : ils sont dégradés en glycérol et acides gras sous l'action des lipases (lipolyse). Dans le muscle, au niveau des mitochondries, les acides gras sont ensuite catabolisés en acétylcoA par le processus de β -oxydation. Comme il y a plus d'atomes de carbone au sein de la molécule d'acide gras que dans celle du glucose, la quantité d'acétylCoA produite est plus importante, le métabolisme des graisses produit alors plus d'énergie que celui du glucose, mais se mobilise dans un second temps et devient le substrat majoritaire après 2 heures d'effort.

- Les protéines, par l'intermédiaire des acides aminés, dont certains sont convertis en glucose (par néoglucogénèse) ou transformés en composés intermédiaires du métabolisme oxydatif (comme le pyruvate ou l'acétylCoA)

Le cycle de Krebs aboutit à la fois à la formation de molécules riches en énergie : le NAD (NAD/NADH) et la flavine adénine dinucléotide FAD/FADH) mais aussi à celle de déchets que la cellule se devra d'évacuer, comme le CO₂ ou l'eau en trop grande quantité. Ce CO₂ provenant à la fois de la transformation du pyruvate en CoA et du cycle de Krebs est éliminé de l'organisme *via* le système ventilatoire.

Les molécules riches en énergie (NADH et FADH) produites sortent du cycle de Krebs et vont entrer dans la chaîne de transport des électrons (CTE) ou chaîne respiratoire.

Les molécules issues du cycle de Krebs vont offrir leur énergie dans cette suite de réactions. Au final, l'oxygène qui n'intervient qu'à la fin du processus va permettre de récupérer les ions H⁺ pour former de l'eau et ainsi empêcher de les libérer dans le cytosol, ce qui augmenterait l'acidité intracellulaire (6).



L'O₂ inhalé ne devient donc pas que du CO₂ dans notre organisme mais aussi de l'eau en devenant l'ultime accepteur d'ions H⁺, limitant ainsi l'acidose métabolique grâce à la captation de 2 H⁺.

C'est dans la CTE que la majeure partie de l'ATP sera formée au sein de la mitochondrie.

L'ATP finalement produit par la phosphorylation oxydative au sein de la mitochondrie ne quitte pas à proprement parler cette structure ; l'énergie contenue est transférée au cytosol via la Créatine disponible dans le muscle pour reformer la PCr. Ainsi, plus le système lié au transport de l'oxygène fonctionne, plus la PCr sera renouvelée et plus vite le sportif pourra récupérer.

Le rendement de production de cette réaction est de 36 ATP par molécule de glycolyse et le facteur limitant est l'épuisement des réserves ainsi que la saturation des enzymes du cycle de Krebs.

La figure 12 complète la figure 11 en schématisant cette voie aérobie. Il est finalement possible d'y visualiser ces liens entre les différentes voies métaboliques.

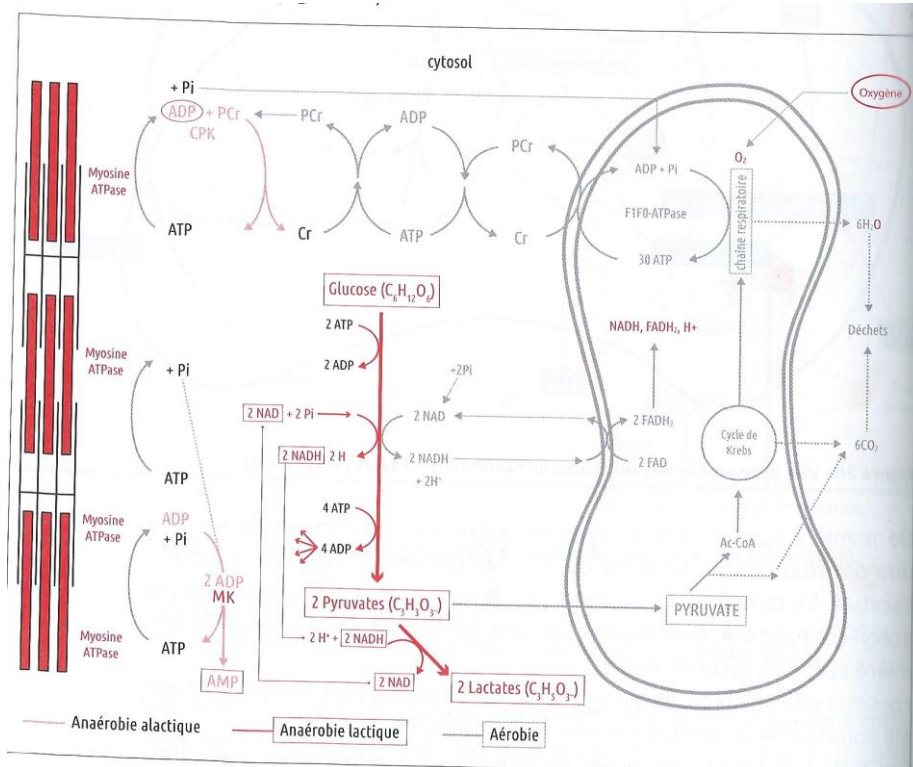


Figure 12. Représentation de la filière aérobie au sein de la fibre musculaire.[9]

2.2.4. Synthèse des différentes filières énergétiques

Il est important de noter que le recyclage du FAD au sein de la mitochondrie est en corrélation étroite avec l'utilisation du NAD dans la glycolyse, preuve du lien notable entre filières aérobie et anaérobie lactique ; mais également qu'une partie de l'ATP produit par la mitochondrie sert à la resynthèse de la PCr, ce qui met en lumière cette fois-ci la corrélation entre voies aérobie et anaérobie alactique.

Les trois filières, qui nous paraissent *a priori* cloisonnées, une fois leur étude détaillée effectuée, peuvent en effet fonctionner brièvement de manière dominante mais seront rapidement limitées par le fonctionnement des autres et sont ainsi dépendantes les unes des autres.

En résumé, les filières énergétiques permettent la production d'ATP à partir d'une multitude de sources d'énergies (ADP, PCr, glucides et lipides essentiellement) afin de maintenir la contraction musculaire dans le temps.

Les débuts d'effort ou les efforts intenses sont effectués à l'aide des filières anaérobies, le temps que l'oxygène parvienne en quantité suffisante dans les mitochondries.

3. Optimisation de l'entraînement

La compréhension des filières énergétiques empruntées au cours de l'exercice va permettre de saisir l'explication scientifique des contrastes qui existent entre les méthodes d'entraînement des différents sports, selon qu'ils soient de force, d'endurance ou d'activité mixte.

Avant cela, il sera pertinent de déterminer les valeurs de références mesurables utiles à l'élaboration d'un programme d'entraînement, ainsi que de définir les différentes zones de travail, intimement liées à l'intensité et au fractionnement de l'effort.

3.1. Puissance de l'exercice

L'endurance sportive peut se définir comme la faculté à maintenir l'intensité d'actions musculaires optimales durant un temps défini ou le temps d'atteindre un objectif fixé.

Elle est multifactorielle mais reste liée à la capacité de l'organisme à renouveler le plus rapidement l'énergie consommée au travers des filières énergétiques précédemment explicitées : on cherche au travers de l'entraînement une meilleure utilisation de l'énergie et non pas à augmenter ses réserves énergétiques.

L'endurance est spécifique à la discipline et à l'individu : elle n'est pas la même d'un sport à l'autre et, au sein d'une même activité sportive, les contributions énergétiques de chaque sportif sont individuelles.

Les notions importantes intimement liées à l'endurance sont le $VO_2 \text{ max}$, la VAM et la PMA définis comme suit :

- Le $VO_2 \text{ max}$ est le débit maximal de production d'énergie par la voie oxydative et correspond à la quantité maximale d'oxygène que l'organisme peut utiliser par unité de temps au cours d'un exercice physique. En d'autres termes, elle est la capacité de l'organisme à absorber de l'oxygène, à le transporter pour le mettre à disposition du

muscle qui l'extrait et libère l'énergie des différents substrats. Il est exprimé en mL/min/kg.

- La VAM est la Vitesse Aérobie Maximale atteinte à $VO_2 \text{ max}$. Elle est exprimée en km/h.
- La PMA est la Puissance Maximale Aérobie qui correspond à la plus petite puissance d'exercice permettant d'obtenir le $VO_2 \text{ max}$. Elle est exprimée en watts.

L'endurance aérobie est ainsi le pourcentage de $VO_2 \text{ max}$ maintenu au cours d'une épreuve d'une durée donnée ou inversement, la durée d'une activité susceptible d'être maintenue à un pourcentage donné du $VO_2 \text{ max}$.

Au-delà de l'endurance, la résistance est l'aptitude à prolonger un exercice à une puissance supra-maximale, ce qui ne sollicitera pas les mêmes filières énergétiques.

La figure 13 présente ces paramètres et schématise les zones d'endurance et de résistance en fonction de l'intensité de l'exercice.

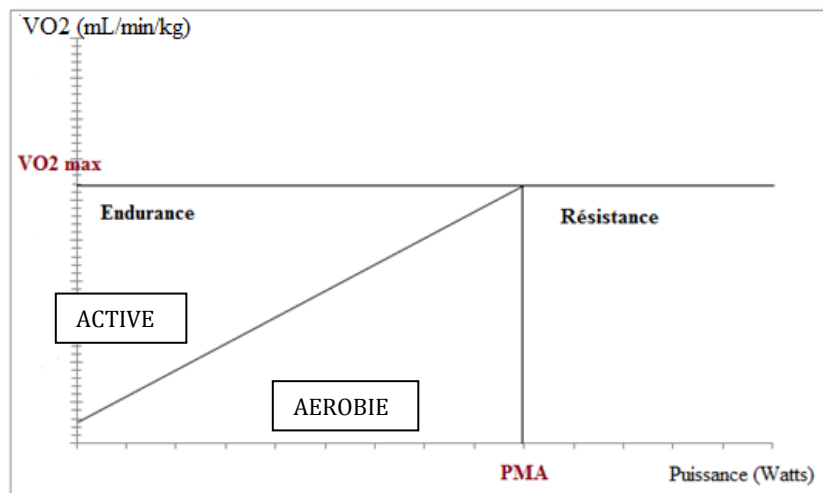


Figure 13. Les zones d'endurance et de résistance, délimitées par la PMA et plafonnées par la $VO_2 \text{ max}$. [12]

3.2. Détermination des paramètres individuels

La mesure du $VO_{2\max}$ exige un test maximal d'effort avec analyse des gaz expirés et inspirés. Il est néanmoins possible de l'extrapoler par estimation statistique au travers de tests physiques.

Il est proposé par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) un test en 3 paliers pour déterminer l'ensemble de ces paramètres. Une fiche destinée à être distribuée au large public est proposée en annexe 1, avec pour exemple le cas d'un homme de 40 ans pesant 100 kg en annexe 1bis. [13][14]

3.3. Perfectionnement de l'entraînement

3.3.1. Zones de travail

Ces valeurs vont alors être d'une importance primordiale pour déterminer spécifiquement les zones de travail en fonction de l'intensité de l'effort physique et ainsi aider le sportif à atteindre différents objectifs. Elles vont être finalement à la base de la construction d'un programme d'entraînement, adapté à l'individu et à ses objectifs ; qu'ils soient liés à la santé ou à l'amélioration de ses performances.

L'annexe 2, destinée à être distribuée à un large public, identifie les intensités d'efforts à fournir pour atteindre les différentes zones de travail présélectionnées en fonction des objectifs d'entraînement. Cette fiche se base sur la formule de Karvonen qui utilise la notion de Fréquence de réserve, et qui se révèle être l'outil de base qui intègre la fréquence cardiaque de repos et permet d'exprimer plus valablement l'intensité de l'effort. Cette fréquence optimale d'entraînement tient alors compte de la variabilité interindividuelle. L'athlète peut ainsi déterminer ses fréquences optimales de travail adaptées à ses objectifs d'entraînement.

3.3.2. Objectifs des entraînements en fonction du sport pratiqué

En plus de jouer sur l'intensité de l'exercice pour adapter son entraînement, il sera intéressant de réfléchir à différentes méthodes d'entraînement ne sollicitant pas les mêmes filières énergétiques.

D'une part, pour les sports de force, l'entraînement se fera en anaérobie. Il est possible de surcharger le système anaérobie alactique en sollicitant les muscles à une puissance supra maximale pendant 5 à 10 secondes. Comme l'énergie libérée durant ces courts efforts ne s'accompagne pas de production de lactates, la récupération est rapide et l'effort peut être repris après 30 secondes de repos. L'application de courtes périodes d'un travail difficile à la vitesse qui correspond au besoin de puissance anaérobie constitue une des applications de l'entraînement par intervalle.

D'autre part, pour effectuer un effort maximal qui dépasse les 10 secondes dans les sports mixtes tels que la natation, le cyclisme ou le football, il faut augmenter la production de lactates et effectuer un travail en anaérobie utilisant la glycolyse. Il faut accomplir une série d'exercices maximaux à la course, en vélo ou à la nage d'une durée maximale d'une minute et de s'arrêter 30 secondes avant de sentir l'épuisement, pour que les lactates atteignent leur concentration maximale ; puis passer à l'étape de repos entre 3 et 5 minutes avant de reprendre l'exercice. La répétition favorise la création de lactates car leur concentration dépasse alors celle que l'on obtiendrait avec un seul effort maximal effectué jusqu'à épuisement. Il faudrait davantage placer cet entraînement en puissance anaérobie en fin de séance pour ne pas que la fatigue prenne le dessus et limite l'efficacité de l'entraînement aérobie alors complémentaire.

Enfin, l'entraînement aérobie permet de stimuler le système cardiovasculaire et améliorer le débit cardiaque. L'exercice doit se faire à une puissance suffisamment intense pour stimuler les muscles dont on voudrait améliorer la circulation et le métabolisme. Il s'agit du principe de spécificité appliqué à l'entraînement aérobie : le sportif doit s'entraîner en aérobie en pratiquant l'exercice dans lequel il doit concourir. De courtes périodes d'exercice répété (entraînement par intervalles) ou de longues de travail continu (entraînement par exercice continu) améliorent la capacité aérobie.

3.3.3. Méthodes d'entraînement et élaboration d'un programme d'entraînement

L'entraînement par intervalles permet d'accomplir plus d'exercices qu'on ne le pourrait si le travail était en continu : il multiplie les exercices intermittents de grande intensité pendant un temps long. La durée des périodes de travail, entrecoupées de périodes de récupération, peut varier en fonction de l'objectif désiré. Le programme d'entraînement peut faire varier l'intensité, les durées des périodes d'activité, de récupération et le nombre de répétitions.

Pour les périodes de travail, 1,5 à 5 secondes de plus que le meilleur temps de performance sont réservées pour parcourir une distance d'entraînement de 50 à 200 m à la course et 15 à 50 m à la natation.

Exemple : pour une distance de course de 55 m atteinte en 8 secondes en course à pied, les entraînements sur cette même distance s'effectueront entre 9,5 à 13 secondes.

Pour des distances d'entraînement de 400 m à la course à pied et 100 m à la natation, le calcul de la cadence d'entraînement se fera à l'aide du meilleur temps des tranches respectives de 400 m sur 1600 m à la course ou de 50 m sur 200 m à la natation. Il y sera ensuite déduit entre 1 à 4 secondes de ces meilleurs temps. Mais, si les distances d'entraînement dépassent 400 m à la course et 100 m à la natation, il faudra au contraire ajouter 3 secondes par tranche de 400 m à la course ou de 100 m à la natation.

Exemple : pour un temps de 105 secondes au meilleur 400 m d'une course totale de 1600 m, les séquences d'entraînement de 400 m se feront entre 101 et 104 secondes. Pour effectuer alors une distance de 800 m à l'entraînement, il faudra adapter son allure pour les parcourir en 216 secondes $((105 + 3) \times 2)$.

Concernant les périodes de récupération, elles sont fonction du type d'exercice effectué : en anaérobie alactique, le temps de repos est alors 3 fois plus long que le temps de travail ; en anaérobie lactique, il est 2 fois plus long et en aérobie, il est égal au temps d'exercice ou de 50% supérieur à ce dernier.

L'autre méthode d'entraînement complémentaire est l'exercice continu, effectué sur des distances pour que l'organisme dispose d'assez de temps pour s'ajuster correctement aux exigences du travail ; la durée de récupération n'est donc plus cruciale. Cette méthode utilise un exercice d'intensité entre 60 à 80 % de la PMA et d'une durée supérieure ou égale à une heure. Elle est utile aux athlètes tels que les marathoniens, mais elle est également adaptée aux individus qui débutent un programme d'entraînement ou pour ceux qui désirent perdre du poids. L'entraînement s'effectue alors sur une distance entre 2 à 5 fois plus longue que la distance de compétition et à la même intensité.

Enfin, l'entraînement par « fartlek », qui signifie « jeu de vitesse » en suédois, fait courir l'athlète à basse et haute vitesses. Il n'y a pas d'organisation particulière ni de temps de récupération, le schéma d'entraînement se fait en fonction de ce qu'il ressent. Ceci s'adapte bien aux exercices effectués en pleine nature et aux entraînements hors saison.

Bien plus que l'élaboration d'un programme d'entraînement pour sportif avéré, ces techniques entrent aussi dans une logique de santé. En effet, elles permettent de déterminer quelle est la quantité appropriée d'activité physique pour obtenir des bénéfices sur la santé et sur diverses maladies comme les maladies coronariennes, l'HTA, l'ostéoporose, l'obésité ou un contrôle simple du poids. Dans le but de baisser la fréquence cardiaque au repos suite à la reprise de l'activité physique et d'améliorer ainsi sa condition physique, voici présenté dans le tableau 2, à titre d'exemple, une logique de progression pour un débutant en cardio-training.

Tableau 2. Programme d'entraînement cardio-training pour débutant.[9]

| Niveau | Semaine | Fréquence par semaine | Intensité(% VO ₂ max) | Durée (min) |
|----------------------|---------|-----------------------|----------------------------------|-------------|
| <i>Débutant</i> | 1 | 3 | 40 à 50 | 15 à 20 |
| | 2 | 3 à 4 | 40 à 50 | 20 à 25 |
| | 3 | 3 à 4 | 50 à 60 | 20 à 25 |
| | 4 | 3 à 4 | 50 à 60 | 25 à 30 |
| <i>Intermédiaire</i> | 5 à 7 | 3 à 4 | 60 à 70 | 25 à 30 |
| | 8 à 10 | 3 à 4 | 60 à 70 | 30 à 35 |
| | 11 à 13 | 3 à 4 | 60 à 70 | 30 à 35 |
| | 11 à 13 | 3 à 5 | 65 à 75 | 30 à 35 |
| | 14 à 16 | 3 à 5 | 65 à 75 | 30 à 35 |
| | 17 à 20 | 3 à 5 | 70 à 85 | 35 à 40 |
| | 21 à 24 | 3 à 5 | 70 à 85 | 35 à 40 |
| <i>Confirmé</i> | > 24 | 3 à 5 | 70 à 85 | 20 à 60 |

3.3.4. Limites de l'entraînement

Pour ne pas interférer avec cette progression de performances ainsi optimisée, une vigilance particulière doit être portée à la qualité des entraînements proposés.

A cause de l'entraînement intense et prolongé que nécessitent les sports d'endurance, certains athlètes peuvent présenter un syndrome de surentrainement. Comme le sujet ne récupère pas de ses séances d'entraînement, accomplir un exercice normal devient difficile. Les symptômes sont essentiellement un manque d'engouement à l'entraînement, une baisse des performances, une humeur variable avec fatigue généralisée, une élévation de la fréquence cardiaque au repos, des insomnies et pertes de poids avec de possibles blessures, redoutables ennemis du sportif.

Chez le débutant, cela pourrait être également dommageable. Une augmentation de blessures aux pieds, aux jambes et aux genoux apparaît si l'entraînement en course à pied est supérieure à 3 jours par semaine et/ou supérieur à 30 minutes par séance d'exercice.

4. Quelles conséquences cette connaissance physiologique des activités physiques peut-elle avoir sur le quotidien du sportif ?

La compréhension du fonctionnement physiologique de l'organisme est un premier pas pour que l'athlète puisse adapter une alimentation qui est propre à son exercice physique et ainsi améliorer ses performances physiques.

Il lui faudra également connaître ses capacités d'endurance et de résistance pour utiliser les filières énergétiques à bon escient.

Grâce à cet apport de connaissances, les séances d'entraînement deviennent adaptées aux objectifs des compétitions et le sportif se devra d'être vigilant au quotidien à son alimentation qu'il modifiera en fonction des périodes sportives dans lesquelles il se trouve.

Il convient d'apporter dans un deuxième temps une connaissance plus large sur la nutrition qui pourrait alors convenir aux différents types d'activités physiques, pendant les périodes d'activité ou de repos.

Ce point fait l'objet de la deuxième partie de cette thèse.

PARTIE 2

Nutrition, micronutrition et hydratation du sportif

1. Les besoins nutritionnels généraux

Les besoins nutritionnels, proportionnels à la DET du sujet, prennent en compte la quantité réelle des nutriments absorbés qui permettent la constitution et le maintien des réserves.[15]

Les Apports Nutritionnels Conseillés (ANC), établis par l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail (ANSES), correspondent à des valeurs définies de quantité et qualité pour chaque macro- et micronutriment, qui permettent de couvrir les besoins physiologiques de 97,5 % des individus d'une population. Ils sont différents selon l'âge, le sexe et la situation physiologique.[16] Les ANC des macronutriments sont un repère de choix pour s'approcher d'une situation nutritionnelle optimale. Plus on s'en éloigne, plus le risque de carence s'accroît. Ils se situent 30% au dessus du besoin nutritionnel moyen calculé pour la population, pour qu'un apport inférieur aux ANC puisse suffire à couvrir les besoins de la plupart des individus. Concernant la micronutrition, les ANC correspondent plutôt à une dose maximale à ne pas dépasser, certains pouvant être toxiques en grandes quantités.[15]

Les Apports Journaliers Recommandés(AJR) ou Valeur Nutritionnelle de Référence (VNR) sont des valeurs fixées au niveau européen [17] et étiquetées sur les produits alimentaires. Ils correspondent à la valeur moyenne des besoins journaliers de la population générale et sont toujours inférieurs aux ANC. Ils peuvent être pour hommes ou femmes, mais ne tiennent pas compte de l'âge ou des situations physiologiques particulières. Il serait de ce fait préférable de se fier aux ANC pour couvrir les besoins généraux des sportifs, même si les AJR restent de bons repères pour la population générale.

2. La balance énergétique du sportif

Dans un esprit d'équilibre, la nutrition s'avère être facteur de performance à condition que les apports et les dépenses énergétiques soient balancés, ce qui se traduit par une masse corporelle constante.[18]

2.1. Les dépenses

Chez l'homme sédentaire, elles sont estimées entre 1800 et 2600 kilocalories (kcal) par jour, alors que chez le sportif, toutes disciplines confondues, elles avoisineraient les 3000 à 6000 kcal par jour. Chez la femme, elle est estimée entre 1800 et 2200 kcal/j pour les sédentaires et entre 2600 et 3300 kcal/j pour les athlètes.[18]

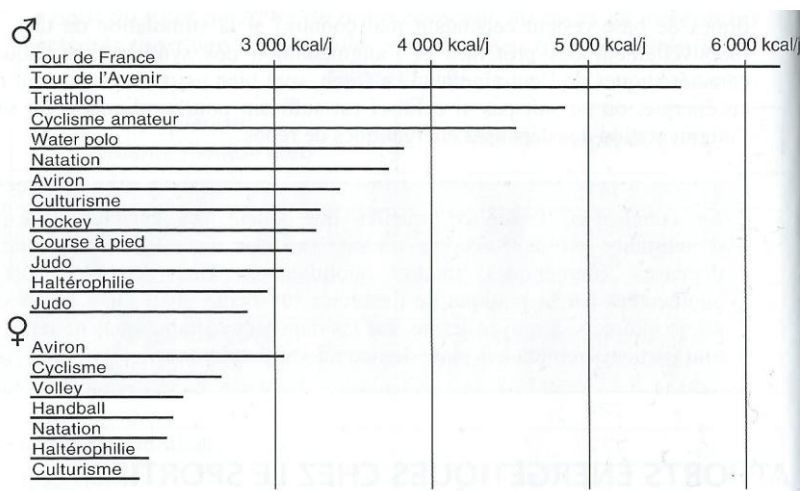
Les besoins chez les sportifs sont plus conséquents à cause d'une dépense énergétique augmentée par l'activité physique, mais aussi parce qu'une élévation du métabolisme de base se manifeste dès l'arrêt de l'activité et continue d'augmenter avec le nombre d'heures d'entraînement.[19] Ils varient en fonction de l'individu (âge, sexe, poids) et du coût énergétique du sport pratiqué : pour une personne de 70 kg, une heure de volley-ball équivaut à 250 kcal dépensés en moyenne, alors qu'une heure de squash avoisinerait une perte de 900 kcal.[18][19]

2.2. Les apports

Les apports énergétiques chez les sportifs d'endurance varient en moyenne entre 45 et 85 kcal/kg/j pour rééquilibrer la balance énergétique. Pour les disciplines anaérobies, les apports sont spontanément plus faibles (entre 25 et 60kcal/kg/j).[18]

Une étude a ainsi évalué les apports énergétiques dans différentes disciplines sportives. Elle s'est basée sur une collecte de 7 jours consécutifs d'informations concernant la nature, la fréquence et la quantité des aliments consommés ainsi que leur méthode de préparation et de consommation (Annexe 3). Les résultats en fonction des différentes disciplines sont rassemblés dans le tableau 3.

Tableau 3. Apports énergétiques observés chez des sportifs d'endurance, de force ou pratiquant des sports collectifs.[18]



2.3. Variation volontaire de la balance énergétique : Cas particulier du régime restrictif chez les sportifs de force à catégorie de poids

Dans certains sports de force, l'athlète va être soumis tout au long de sa carrière à des variations de poids en alternant régimes normocalorique et hypocalorique, pour rentrer dans certaines catégories de poids. Cette réduction des apports énergétiques se traduit par des pertes en glycogène hépatique, en glycogène musculaire (de l'ordre de 50 % des réserves), en protéines totales de l'organisme et en eau (3 à 4 g d'eau par g de MC perdu). La proportion en glucides dans la ration alimentaire hypocalorique sera importante à contrôler pour permettre la resynthèse du glycogène corporel.[20][21] En 10 jours de période d'amaigrissement, 54 - 58 % de la perte de poids est attribuée à l'eau, 6 - 16 % en protéines et 30 - 35 % à une perte en graisses. Associée à l'exercice physique, la perte de masse maigre est minorée au profit de celle en masse grasse.[22] Les techniques utilisées pour perdre facilement du poids sont le jeûne, la restriction stricte d'apport hydrique associée à un exercice au chaud. Ces pratiques ne sont pas sans conséquences : on retrouve chez ces athlètes une diminution de la densité minérale osseuse avec un risque de survenue de fracture de fatigue, liée à de l'ostéoporose, une possible anémie liée à un déficit d'apport en fer, chez les femmes, des troubles des règles et chez les hommes, une hypotestostéronémie associée à des troubles sexuels. Avec la répétition de cette pratique, la perte de poids attendue est en outre de plus en plus difficile à obtenir.

3. Les standards alimentaires

Les macronutriments, subdivisés en 3 principales catégories, sont aptes à fournir de l'énergie ; ce sont les glucides, lipides et protéines. Les micronutriments ne fournissent au contraire aucune énergie et sont constitués par des vitamines, oligoéléments et minéraux.

3.1. Les macronutriments

La répartition journalière des apports de macronutriments suit des recommandations rassemblées dans le tableau 4. Chez la majorité des sportifs, il n'est pas recommandé de changer ces proportions lors des rations d'entraînement.

Pour les sports brefs, l'alimentation immédiate sera peu concernée et un régime équilibré accompagné d'une masse maigre adéquate sera souvent suffisant, sauf en période dite

« sèche » où une adaptation alimentaire pourra s'avérer nécessaire pour entrer dans la bonne catégorie de poids.

Pour les sports d'activités mixtes et d'endurance, il faudra surveiller les apports en hydrates de carbone pour constituer des réserves de glycogène adéquates. La ration de récupération alimentaire est indispensable pour reconstituer les stocks de glycogène amputés par l'effort et pour restituer les réserves hydriques.

Tableau 4. Ration quotidienne recommandée pour la population générale et les sportifs d'endurance hors période de compétition.[19][23]

| Nutriments | Tous sports <i>Hors compétition</i> | Sports brefs <i>Période sèche</i> | Sportifs d'endurance <i>Pré-compétition</i> |
|---------------------|--|--------------------------------------|--|
| En kcal/g | % des calories | | |
| Glucides - 4 kcal/g | 50 à 55 % | 30 à 45 % | 60 à 70 % |
| Lipides - 9 kcal/g | 30 à 35 % | 30 à 35 % | 15 à 30 % |
| Protides - 4 kcal/g | 12 à 16 % | 25 à 35 % | 12 à 16 % |

3.1.1. Les glucides

Aussi appelés hydrates de carbone ou sucres, ils représentent la moitié des Apports Energétiques Totaux Quotidiens (AETQ) recommandés. [24] Un gramme de glucides équivaut à un potentiel énergétique de 4 kcal. Chez les sportifs, la ration glucidique représente la principale source d'énergie au cours de l'effort. En période d'entraînement, il est recommandé de consommer 10 g de glucides par kg de poids corporel au quotidien.

3.1.1.1. Les différents types de glucides

Les glucides sont différenciés en fonction de leur structure chimique : les monosaccharides, les oligosaccharides et les polysaccharides.

Les monosaccharides ou sucres rapides, qui comportent 5 à 6 atomes de carbone, apparaissent rapidement dans le sang après ingestion car ils ne nécessitent pas d'hydrolyse pour être absorbés par la muqueuse intestinale. Les plus retrouvés dans l'alimentation sont le glucose, le fructose, le galactose et le dextrose. Le glucose est la forme circulante de l'énergie glucidique alors directement disponible et représente 0,6 % de l'énergie glucidique en réserve.

Les oligosaccharides, sont constitués de 2 à 10 molécules de monosaccharides reliées par des liaisons glycosidiques. Les disaccharides sont les plus présents dans les aliments avec notamment le saccharose (glucose + fructose), le lactose (glucose + galactose) et le maltose (glucose + glucose).[19]

Enfin, les polysaccharides sont un assemblage minimal de dix monosaccharides et forment entre autres l'amidon, le glycogène ou l'inuline. Le glycogène est la forme de stockage musculaire (80 % de l'énergie glucidique) et hépatique (20 % de l'énergie glucidique) des glucides.[19]

La catégorisation « sucre rapide versus sucre lent » pour définir la capacité d'un sucre à augmenter la glycémie est discutable. Le pouvoir hyperglycémiant d'un aliment n'est pas obligatoirement lié à la taille des molécules glucidiques qu'il contient. Il faut plutôt considérer l'aliment et non pas juste le glucide qu'il contient. Le stockage des glucides reste néanmoins inhérent au pic d'insuline.

3.1.1.2. L'index glycémique (IG)

L'IG représente l'évolution de la glycémie en fonction du temps et permet la classification des aliments en fonction de leur capacité à augmenter la glycémie. Plus l'IG est faible, plus l'aliment en question libère son énergie progressivement, ce qui évite une sécrétion trop importante d'insuline qui pourrait entraîner une hypoglycémie réactionnelle avec sensation de faim et de fatigue alors préjudiciable à l'exercice physique.[18]

En période de compétition, la consommation des sucres rapides à IG élevé est à privilégier, alors qu'en période d'entraînement, les glucides à IG faible sont à prioriser.[24]

Le tableau 5 montre pour exemple quelques aliments classés en fonction de leurs index glycémiques, définis par rapport à l'index 100 qui correspond à l'ingestion du pain blanc.

Tableau 5. Les 3 grandes classes d'aliments en fonction de leur index glycémique.[18]

| IG élevé (> 75) | IG moyen (50 à 75) | IG faible (<50) |
|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Glucose | Riz blanc | Lait entier ou demi-écrémé |
| Carottes cuites | Pain complet | Lentilles |
| Pain blanc | Barre de céréales | Carottes crues |
| Frites | Abricots frais ou au sirop | Oranges, pommes |
| Purée de pomme de terre | Bananes mûres | Abricots secs |
| Riz au lait | Raisins secs | Pâtes |
| Bière | Confiture, miel | Fructose |

3.1.1.3. Rôle physiologique des glucides au cours de l'exercice

Les glucides sont les principaux carburants des exercices courts et intenses. Pour les exercices de longue durée, les glucides interviennent majoritairement en début d'effort pour laisser ensuite place aux substrats lipidiques, une fois les réserves glycogéniques épuisées. Les besoins glucidiques chez le sportif d'endurance peuvent être augmentés (70 – 80 % de l'AETQ), puisqu'une bonne disponibilité en hydrates de carbone permet de faire reculer les limites de la fatigue.[15][24]

Les glucides sont stockés dans l'organisme à l'aide du glycogène dans le muscle et le foie et seule une petite portion se retrouve sous forme de glucose sanguin. Le glycogène musculaire et le glucose sanguin sont les principales sources utilisées lors de la contraction musculaire.[25][26] Le glycogène musculaire représente un facteur limitant lors d'exercices longs effectués à haute intensité : les réserves en glycogène musculaire s'épuisent pour des efforts d'environ 90 minutes à 75 % du VO₂ max.[18] Ensuite, il y a apparition d'une fatigue.

3.1.1.4. Régime enrichi en glucides

Dans le but de retarder l'épuisement de ces stocks et ainsi l'apparition d'une fatigue musculaire, il est nécessaire d'augmenter les réserves en glycogène du sportif avant les épreuves d'endurance, en adoptant un régime pré-compétitif singulier.

Historiquement, le « régime dissocié scandinave » commençait 6 jours avant la compétition et se divisait en deux phases successives : hypo- puis hyperglucidique. Ce régime présentait néanmoins plusieurs effets secondaires tels qu'une perte de poids, des troubles digestifs, des diarrhées, une fatigue, des hypoglycémies, des troubles de l'humeur ou encore des carences en fer, vitamines et zinc. Ce régime a alors été remplacé par le « régime dissocié modifié » qui consiste uniquement en une phase d'alimentation hyperglucidique débutant 3 jours avant la compétition et composée de 70 à 80 % de glucides, 8 à 15 % de lipides et 12 à 16 % de protéines. Cette surconsommation préalable de glucides a montré une amélioration certes faible, mais significative de la performance.[18][27]

Pour des efforts inférieurs à 90 minutes, un régime hyperglucidique préalable n'influence pas la performance et une alimentation normoglycémique est largement satisfaisante.[28]

3.1.2. Les lipides

Mis en réserve dans le tissu adipeux, un gramme de lipides équivaut à 9 kcal. On retrouve ces corps gras dans les graisses animales et les huiles végétales. L'apport journalier recommandé représente entre 30 et 35 % de l'AETQ, proportion qui peut être ajustée chez le sportif au profit d'un apport majoré en glucides.[24]

3.1.2.1. Les différents types de lipides

Les lipides sont habituellement divisés en 2 catégories :

- Les lipides simples, ou homolipides, constitués d'acides gras (AG), d'esters d'AG et de glycérol ou de stérols formant respectivement les triglycérides (principale source de lipides alimentaires) et le cholestérol.
- Les lipides complexes, ou hétérolipides, formés de lipides simples liés à des molécules de sucres ou des radicaux contenant du phosphore, formant alors respectivement les glycolipides et les phospholipides.[18]

Les AG diffèrent par leur longueur de chaîne carbonée et leur degré d'insaturation (nombre de doubles liaisons). Plus il y a d'insaturations, plus le point de fusion de la substance diminue.

Les AG à chaîne courte sont formés de moins de 8 atomes de carbone et sont solubles dans l'eau. Les AG à chaîne moyenne contiennent entre 8 et 12 atomes de carbones. Les AG à chaîne longue sont composés de plus de 12 atomes de carbone et nécessitent la présence de micelles pour être absorbés.[18]

C'est le degré d'insaturation qui permet aussi de classer ces acides gras. Ils se retrouvent dans l'alimentation dans les sources animales et végétales (Tableaux 6 et 7).

- Les AG saturés (AGS) ne comportent aucune double liaison et sont principalement représentés par les acides palmitique et stéarique, contenus dans les produits d'origines animales ou encore l'huile de palme et les pâtisseries.
- Les AG monoinsaturés (AGMI) comportent une unique double liaison. Le plus fréquent est l'acide oléique qui représente 30 % des AG fournis par l'alimentation. Ils sont présents dans les huiles végétales et les graisses animales fluides.[18]
- Les AG polyinsaturés (AGPI) sont porteurs de 2 ou plus doubles liaisons. Les principaux représentants des AGPI sont les acides linoléiques et arachidoniques pour la famille des Ω 6, ainsi que les acides alpha linoléiques, eicosapentaénoïques,

docosahéaénoïques de la famille des Ω 3. Ils sont essentiellement d'origine végétale ou contenus dans les poissons gras et sont à privilégier dans l'alimentation.[18]

Tableau 6. Les aliments riches en AG classés en fonction de leur degré d'insaturation.[18]

| AGS | AGMI | AGPI | |
|----------------|-------------------|---------------------------|-----------|
| Beurre | Huile d'olive | Oméga 6 | Oméga 3 |
| Crème fraîche | Huile d'arachide | Huile de pépins de raisin | Sardine |
| Huile de palme | Huile de colza | Huile de tournesol | Maquereau |
| Végétaline | Graisse de canard | Huile d'arachide | Saumon |
| Fromage | Volaille, Porc | Huile de lin | Hareng |
| Charcuterie | Amandes | Huile de colza | |
| Pâtisseries | Noisettes | Huile de noix | |

Tableau 7. Classification des viandes en fonction de leur teneur en lipides et de leur proportion en AGS et AGI.[27]

| Aliments | % Lipides | % AGS | % AGI |
|---------------------|-----------|-------|-------|
| <i>Cœur de bœuf</i> | 6 | 50 | 50 |
| <i>Côte de veau</i> | 10 | 50 | 50 |
| <i>Poulet</i> | 10 – 17 | 30 | 70 |
| <i>Œuf (jaune)</i> | 13 | 38 | 62 |
| <i>Bœuf</i> | 16 – 42 | 52 | 48 |
| <i>Agneau</i> | 19 - 29 | 60 | 40 |
| <i>Jambon</i> | 23 | 45 | 55 |
| <i>Porc</i> | 32 | 45 | 55 |

Chez le sédentaire comme chez le sportif, un apport lipidique journalier situé entre 1 et 1,2 g/kg/j est recommandé, réparti de la manière suivante : [18]

- 25 % de l'Apport en lipides total sous forme d'AGS
- 60 % de l'Apport en lipides total sous forme d'AGMI
- 15 % d'AGPI,
 - dont 4 % d' Ω 6, représentant entre 8 et 10 g/j
 - dont 0,8 % sous forme d' Ω 3, soit 1,6 à 2 g/j.

Certains de ces AGPI sont essentiels car ils ne peuvent être synthétisés par l'homme ou l'animal, et ne peuvent être ainsi amenés que par l'alimentation.

3.1.2.2. Le rôle physiologique des lipides dans l'exercice

Au repos ou au cours d'un effort léger à modéré de longue durée, les lipides se révèlent être le principal carburant de l'organisme. Ils proviennent à la fois des acides gras contenus dans les triglycérides des adipocytes, libérés après lipolyse dans la circulation sanguine avant de rejoindre le muscle, mais aussi des triglycérides intramusculaires alors immédiatement mobilisables par le muscle.[18]

Au cours de l'exercice, la proportion de lipides oxydés diminue à mesure que l'intensité de l'effort augmente, au profit de l'oxydation du glucose. Pour des efforts d'intensités modérées, les graisses et les glucides participent à l'apport d'énergie de manière quasiment équivalente à partir de la 40^{ème} minute d'un effort à 70% de la capacité maximale. Puis, pour des efforts d'intensité plus élevée, l'énergie provient essentiellement du glucose.[18]

3.1.2.3. Les régimes hyperlipidiques

A la suite d'une étude opposant des groupes d'athlètes suivant soit un régime hyperlipidique, soit un régime hyperglucidique, les auteurs concluent à une augmentation physiologique de l'utilisation des lipides dans le premier groupe. Mais, à défaut d'avoir pu mettre en lumière une amélioration de la capacité d'endurance en épargnant ainsi les réserves en glycogène, cette supplémentation en lipides a plutôt montré un effet délétère sur la performance.[25] En ce sens, un autre argument appuie l'inutilité d'un apport supplémentaire en ration lipidique : les triglycérides peuvent en effet être produits à partir de glucides ou de protéines.

3.1.3. Les protéines

Les protéines sont constituées de longues chaînes d'acides aminés (AA) reliés entre eux par des liaisons peptidiques, dont la séquence confère à la molécule ses propriétés biochimiques. Les protéines sont catabolisées sous forme de radicaux azotés.

Comme indiqué précédemment, une alimentation équilibrée devrait comporter de 12 à 16 % des AETQ sous forme de protéines, avec 40 à 50 % d'origine animale. Chez le sédentaire, l'apport conseillé se situe entre 0,8 à 1 g/kg/j alors que chez le sportif d'endurance, l'ANC en protéines est de 1,5 à 1,7 g/kg/j et peut être augmenté jusqu'à 2,2 g/kg/j en fonction des compétitions ou de l'intensité d'entraînements en fonction des compétitions ou de l'intensité d'entraînements.[24] De récentes données montreraient qu'une consommation jusqu'à 3 g/kg/j resterait sans danger pour la santé.[29]

Il reste difficile de fixer une limite de sécurité pour les apports en protéines. Toutefois, il existe une forme de toxicité des protéines appelée syndrome de la famine du lapin. En se nourrissant exclusivement de protéines et en l'absence de lipides pour couvrir les besoins essentiels, le foie n'est plus en mesure de métaboliser l'azote apporté par les protéines, entraînant une intoxication (diarrhées, maux de têtes, hypotension artérielle, faim et fatigue). Les études les plus récentes estiment qu'une telle intoxication ne peut pas survenir tant que les apports en protéines ne dépassent pas 5 g/kg/j.[30]

Le passage à une alimentation riche en protéines doit cependant se faire progressivement, car le rein a besoin de plusieurs jours d'adaptation pour filtrer les déchets issus du catabolisme protéique.[29]

3.1.3.1. Les différents types de protéines

Il existe 20 AA formant les protéines, dont 8 sont dits essentiels pour l'homme adulte (isoleucine, leucine, lysine, méthionine, phénylalanine, thréonine, tryptophane, valine) et se doivent d'être apportés par l'alimentation, car l'organisme ne peut pas les synthétiser. Les aliments de haute qualité biologique, essentiellement d'origine animale, contiennent l'ensemble de ces 8 AA essentiels en quantités suffisantes pour répondre aux besoins de l'homme adulte, ceux d'origine végétale sont généralement déficitaires quantitativement en l'un ou l'autre de ces 8 AA. Il ne faut toutefois pas se passer pour autant de ces protéines végétales, ce qui entraînerait une surcharge acide qui laisserait s'installer une déminéralisation de l'os et une fonte musculaire.[29] Le tableau 8 classe les aliments en fonction de leur indice protéique dont la référence est la protéine de l'œuf, fournissant un mélange optimal d'AA essentiels.[25]

Tableau 8. Estimation de la qualité biologique en protéine de divers aliments protéiques.[25]

| Aliments | Indice protéique |
|---------------------------------|------------------|
| <i>Œuf de poule = référence</i> | 100 |
| <i>Lait de vache</i> | 60 |
| <i>Poisson</i> | 70 |
| <i>Viande de bœuf</i> | 69 |
| <i>Pomme de terre / Soja</i> | 57 |
| <i>Riz</i> | 64 |
| <i>Haricots</i> | 58 |
| <i>Farine de blé blanche</i> | 58 |
| <i>Cacahuète</i> | 43 |
| <i>Pomme de terre</i> | 34 |

3.1.3.3. Le rôle physiologique des protéines au cours de l'effort

Les protéines, à valeur énergétique égale à celle des glucides (4 kcal/g), ont une production d'énergie plus faible que ces derniers puisqu'elle varie de 3 à 10 % en fonction de l'état nutritionnel, l'intensité et la durée de l'exercice.[18] Le degré d'utilisation des protéines se manifeste par une augmentation des concentrations des produits de dégradation des protides, soit l'urée ou l'acide urique. [25]

Seuls les acides aminés branchés/ramifiés, les Branched Chain AminoAcids (BCAA), tels que la leucine, l'isoleucine, la valine ou potentiellement l'acide aspartique, l'asparagine et l'acide glutamique, sont capables d'être oxydés directement dans le muscle squelettique. Ces BCAA pourront soit fournir de l'énergie par voie oxydative via le cycle de Krebs, soit former du glucose grâce à la néoglucogénèse.[18]

Ce phénomène d'oxydation des protéines est d'autant plus sollicité que l'intensité et la durée de l'exercice augmentent. La disponibilité en substrats énergétiques glucidiques joue un rôle puisqu'une fois les réserves glycogéniques épuisées, le catabolisme protéique augmente. Les sportifs suivant régulièrement un entraînement éprouvant doivent maintenir leurs réserves protéiques à un niveau optimal.

Il n'existe pas de réserves en acides aminés autre que celle contenue au sein des protéines structurales et fonctionnelles. En cas de besoin, ce sont donc ces protéines du sang ou des tissus qui vont être lysées pour être utilisées.[25] Une supplémentation protéique permet la reconstruction des protéines de structure du muscle en plus de fournir de l'énergie à l'organisme.

3.1.3.4. Supplémentation protéique chez les sportifs de force

La pratique régulière d'exercices explosifs (haltérophilie, arts martiaux, sport de combat) conduit à une augmentation visible de la masse musculaire qui s'hypertrophie. Une fois l'effort de force terminé, il y a une accélération du renouvellement des protéines.[31] Ce phénomène explique le besoin d'une consommation plus importante de protéines pour les sports de force. En effet, la prise orale d'AA augmente leur disponibilité locale et optimise l'augmentation de l'anabolisme protéique lié à la pratique de l'exercice de force et permet de limiter l'installation d'une amyotrophie généralisée.[32]

Cependant, les conséquences d'un apport protéique excessif et de l'entraînement en force sur la masse musculaire sont controversées. L'augmentation de l'apport alimentaire azoté combiné à un entraînement adéquat, pourrait favoriser le gain de masse musculaire [33], mais la quantité de protéines à consommer pour gagner en masse musculaire reste discutée.[34]

Une étude n'a pas permis de conclure à une différence quant à la variation de la masse maigre ou des performances musculaires après l'application de deux régimes alimentaires isocaloriques chez des culturistes régulièrement entraînés, l'un « pauvre » (1,05 g/kg/j) et l'autre riche (2,8 g/kg/j) de protéines.[35]

Une autre étude n'a pas mis en lumière de relation linéaire entre l'apport protéique et l'anabolisme musculaire mais plutôt un plafonnement de la synthèse des protéines au profit d'une oxydation des AA apportés en excès plutôt que de leur stockage.

La figure 14 nous montre le niveau d'activité de la synthèse protéique et de l'oxydation de la leucine en fonction d'un régime normo-, hypo- ou hyperprotéique. Les résultats nous montrent qu'un apport intermédiaire de 1,4 g/kg/j en protéines est associé à une augmentation de la synthèse protéique sans élévation de l'oxydation de la leucine. Des apports plus importants de 2,4 g/kg/j de protéines ne permettent pas une augmentation plus importante de cette synthèse protéique mais plutôt une élévation de l'oxydation de la leucine.

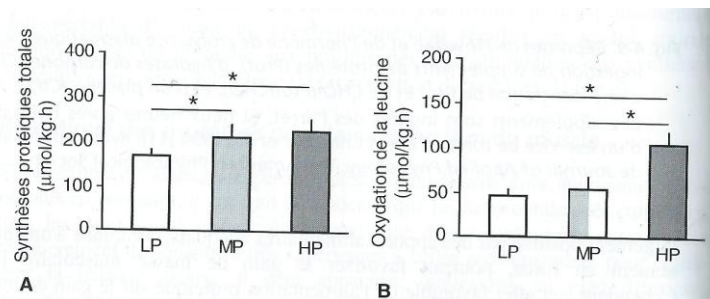


Figure 14. Evaluation des synthèses protéiques totales de l'organisme (A) en fonction de l'oxydation de la leucine (B) chez des athlètes entraînés dans un sport de force et soumis à un régime faible en protéines (LP : 0,9 g/kg/j), modéré (MP : 1,4 g/kg/j) et élevé (HP : 2,9 g/kg/j)

[35]

Ainsi, alors que la disponibilité en AA est indispensable au développement du muscle, il semble exister une limite au-delà de laquelle les AA en excès sont oxydés et ne participent plus à la construction protéique.

Egalement controversés, les effets secondaires liés à un apport excessif en protéines ne sont pas encore totalement éclaircis. Il serait facile de penser qu'un apport excessif en protéines pourrait être néfaste aux fonctions rénale et hépatique alors chargées d'éliminer les AA en excès. Il n'a pourtant pas été décrit d'augmentation de prévalence des affections de la fonction rénale chez les anciens sportifs de force qui consommaient de grandes quantités de protéines au cours de leur carrière.[36]

Néanmoins, un apport élevé en protéines sous forme purifiée exclusivement majore la fuite urinaire du calcium, exposant à un risque d'ostéoporose, notamment. A côté de cela, l'excrétion urinaire d'azote induit une perte hydrique, ce qui nécessitera une surveillance des apports hydriques plus attentive.

Mais ce manque de signes d'alarme ne doit pas pour autant inciter à la surconsommation de protéines, puisqu'il n'est pas possible à ce jour de juger des effets adverses de la supplémentation protéique ; d'autant plus que nous avons vu qu'elle n'a aucune réelle justification scientifique.

3.2. La micronutrition

Les micronutriments regroupent les vitamines, minéraux et oligoéléments. Les besoins de l'organisme en ces micronutriments sont modestes par rapport aux macronutriments, mais leur rôle reste essentiel aux différents processus métaboliques de l'organisme, notamment pour permettre la libération d'énergie. Seul l'apport alimentaire peut compenser leur élimination urinaire et sudorale. Concernant les minéraux, une alimentation normo-variée chez le sportif est suffisante pour corriger ces pertes, sauf pour le calcium, le sodium et le fer, qui nécessitent une surveillance particulière. Il en est de même pour les oligo-éléments pour lesquels seul un faible nombre vont subir des variations de concentration dues à l'exercice et à l'entraînement. A propos des vitamines, leur rôle au cours de l'exercice reste important, surtout celles du groupe B, mais il ne faut pas pour autant surestimer les besoins vitaminiques. Chez le sportif, une vitaminothérapie de soutien sera justifiée en cas d'apport insuffisant (surtout en cas de régime restrictif en période de sèche). Elle n'a pas d'effet sur la performance physique ni sur la capacité à soutenir un entraînement physique éprouvant.

3.2.1. Les vitamines

Les vitamines, présentes en faibles quantités dans les aliments, ne sont pas synthétisables par l'organisme (sauf la vitamine D) et devront être apportées par l'alimentation. Indispensables à l'organisme, elles jouent un rôle de catalyseur de nombreux systèmes enzymatiques aboutissant à la libération d'énergie, à la régulation du métabolisme et à la construction des tissus ou encore, à la prévention des effets néfastes induits lors du processus de stress oxydatif. Elles se séparent en deux groupes : les vitamines liposolubles (A, D, E, K) et les vitamines hydrosolubles (C et B).

3.2.1.1. Les vitamines liposolubles

Absorbées en parallèle des lipides, elles sont métabolisées puis incorporées dans le tissu adipeux. Les vitamines A, D et K sont stockées dans le foie, alors que la vitamine E se trouve dans différents tissus de l'organisme (muscles et tissu adipeux).

Puisqu'il n'existe pas d'adaptation concernant la consommation des vitamines liposolubles chez le sportif, le tableau 9 permet d'avoir une approximation des quantités requises pour atteindre un équilibre sans tomber en carence ou dans l'excès, qui pourraient lui être préjudiciables.

Tableau 9. Les ANC en vitamines liposolubles chez l'adulte.[16][19][37]

| | Source | Rôle | ANC | Aliment |
|----------|--|--|---|--|
| A | <i>Graisse animale</i> : Rétinol <i>Graisse végétale</i> : Carotènes ou provitamines A (lycopène, zéaxanthine) | <ul style="list-style-type: none"> ♦ Croissance et maturation de l'os essentiellement, de la peau et des muqueuses ♦ Mécanisme de la vision ♦ <i>Carotènes</i> : antioxydant | <p>800 µg/j Max. 2000 µg/j (60 % caroténoïdes et 40 % Rétinol et dérivés)</p> | <ul style="list-style-type: none"> ♦ Foie de poisson et de boucherie ♦ Jaune d'œuf, Produits laitiers ♦ Carotte (β-carotène), tomate (lycopène), maïs (zéaxanthine), épinards ♦ Abricot, melon |
| | <p><i>Carence</i> : atrophie épithéliale avec altération de la peau et des muqueuses, baisse du système immunitaire, atteinte de la vision <i>Excès</i> : coloration orange de la peau (β-carotène)</p> | | | |
| D | Calciférol <i>Origines végétales</i> : D2 - Ergocalciférol D3 - Cholécalfiérol <i>Origines animales et photosynthèse</i> au niveau de la peau sous l'action des UVB | <ul style="list-style-type: none"> ♦ Absorption intestinale du calcium et du phosphore ♦ Minéralisation de l'os ♦ Contraction musculaire sous l'action régulatrice du calcium | <p>5 µg /j Max. 20 µg /j</p> | <ul style="list-style-type: none"> ♦ Foie de poisson, de boucherie ♦ Jaune d'œuf ♦ Produits laitiers ♦ Germes de blé Exposition solaire (15 à 30 min par jour) |
| | <p><i>Carence</i> : Rachitisme chez l'enfant et ostéomalacie chez l'adulte avec déminéralisation osseuse, diarrhée, nervosité et sensation de brûlure dans la bouche/gorge. <i>Excès</i> : hypercalciurie et insuffisance rénale avec déshydratation, soif et perte d'appétit</p> | | | |
| E | <i>Graisses animales et végétales</i> : α-tocophérol | <ul style="list-style-type: none"> ♦ Antioxydant ♦ Stabilisateur de membranes cellulaire ♦ Anti inflammatoire | <p>12 mg /kg/j Max. 50 mg/kg/j</p> | <ul style="list-style-type: none"> ♦ Huiles végétales (colza, tournesol, olive), Légumes verts, Pain complet ♦ Jaune d'œuf, foie |
| | <p><i>Carence</i> : rares atteintes musculaires (avec fatigue inhabituelle), cérébrale, hématologique ou ophtalmologique <i>Excès</i> : peu toxique</p> | | | |
| K | Phylloquinone (synthétisée par les plantes) | <ul style="list-style-type: none"> ♦ Phosphorylation oxydative ♦ Coagulation sanguine | <p>45 mg /kg/j</p> | <ul style="list-style-type: none"> ♦ Foie de porc ♦ Choux ♦ Epinards |
| | <p><i>Carence</i> : accentue les saignements, jusqu'à l'anémie, lors des sports d'endurance (microhémorragies lors du ballonnement des viscères), et accentue un déficit du métabolisme du calcium chez les femmes sportives présentant des troubles du cycle. <i>Excès</i> : rectorragies</p> | | | |

Discussion

Les études ne mettent pas en avant que la vitamine A permettait d'améliorer la performance sportive.[24] La supplémentation en β-carotène, avec ou sans autres antioxydants, peut aider à diminuer le stress oxydatif induit par l'exercice, mais pourrait être paradoxalement dommageable à la performance.[25]

La majoration des apports en vitamine D ne présente a priori aucune utilité pour les sportifs, puisque les besoins sont peu augmentés [26], sauf en cas de carence avérée.[5] En cas de carence, surtout hivernale, il est recommandé d'être supplémente car l'alimentation et l'ensoleillement ne suffisent pas à combler le manque. Ces indications relèvent alors du domaine médical et non sportif. Voici deux exemples de vitamine D3 en solution buvable qui apportent quotidiennement 5 µg /j de vitamine D3, disponibles en pharmacie : Ergy D[®] (1 goutte/j) et Lereca[®] Vitamine D3 (4 gouttes/j).

Lors d'une activité physique intense qui augmente la production de radicaux libres, les études ont montré que, chez le sportif de haut niveau, le taux de vitamine E dans les muscles va diminuer, pouvant provoquer des lésions tissulaires chez le sportif initialement non carencé, s'il n'est pas supplémente en vitamine E.[27] Cependant, il n'existe aucune preuve scientifique de l'effet d'une supplémentation en vitamine E sur l'amélioration des performances sportives. La vitamine E facilite, par son fort pouvoir antioxydant, l'action des vitamines A et C en prévenant leur oxydation.

3.2.1.2. Les vitamines hydrosolubles

Ce sont des coenzymes de nombreuses réactions métaboliques ; comme l'activité physique les sollicite, la pratique sportive doit être prise en compte pour évaluer les besoins en vitamines hydrosolubles. Solubles dans l'eau, ces vitamines se dispersent dans les liquides de l'organisme sans être stockées, puis sont éliminées par voie urinaire : il y a ainsi peu de risque de surdosage. Outre ce fait, comme l'homme n'est pas capable de les synthétiser, si l'alimentation n'apporte pas régulièrement au minimum la moitié des apports recommandés en vitamines hydrosolubles, des carences peuvent se développer.

De nombreuses pratiques peuvent interférer avec le statut vitaminique : le tabac entraîne une carence en vitamine C, tout comme l'alcool, avec en plus une carence en vitamines B. La consommation abusive de thé et de café limite l'absorption des vitamines B9 et B12.

Dans le même esprit que le tableau 9, le tableau 10 rassemble les principales informations que le sportif doit connaître sur les différentes vitamines hydrosolubles, qui n'améliorent pas leur performance sportive, mais dont les carences pourraient être préjudiciables (baisse d'énergie, anxiété, trouble de mémorisation, fatigue musculaire, crampes ...)

Tableau 10. ANC en vitamines hydrosolubles chez l'adulte.[16][19][18]

| | Source | Rôle | ANC | Aliment |
|-----------------|--|---|--|--|
| B1 | Thiamine (métabolisée en vitamine B1 active après action du Mg) | <ul style="list-style-type: none"> ♦ Métabolisme glucidique : coenzyme de la pyruvate déshydrogénase qui convertit le pyruvate en acétylCoA ♦ Métabolisme des AG en moindre mesure ♦ Transmission de l'influx nerveux : participe à la synthèse de l'acétylcholine (mémoire, stimulation musculaire squelettique et cardiaque) <p>Une baisse de l'absorption s'observe après raffinage des aliments (mise en conserve ou cuisson) et une accélération du catabolisme de la thiamine après une consommation excessive d'alcool.</p> | <p>1,3 à 1,5 mg/j Max. 4,5 mg/j <i>(au delà, c'est un médicament)</i></p> | Céréales, levures, germes de blé |
| | <p><i>Carence</i> : Baisse de tonus, troubles neurologiques légers voire anorexie, troubles digestifs et cardiaques et apparition du Béri-Béri, maladie qui se manifeste par une atrophie musculaire, une insuffisance cardiaque et des atteintes neurologiques. <i>Excès</i> : rares</p> | | | |
| B2 | Riboflavine | <ul style="list-style-type: none"> ♦ Métabolisme des glucides, lipides et protéines ♦ Protection vis-à-vis des radicaux libres | 1,5 à 2,5 mg/j | Levures, germes de blé, foie, lait, oléagineux |
| | <p><i>Carence et excès</i> : mal définis, rares</p> | | | |
| B3 ou PP | Niacine – Acide nicotinique - Nicotinamide | <ul style="list-style-type: none"> ♦ Précurseur du NAD et NADP dans les réactions d'oxydo-réduction de la chaîne respiratoire ♦ Réplication et réparation de l'ADN | <p>15 à 20 mg/j Max. 33 mg/j <i>(limite de sécurité)</i></p> | Levures, cacahuète, blanc de poulet, thon, saumon, riz complet, pain complet |
| | <p><i>Carence</i> : Pellagre (plaques rouges cutanées, inflammation buccale, troubles gastriques et nerveux), insomnie, perte d'appétit, fatigue <i>Excès</i> : A doses massives, rougeurs et picotements de la peau, diarrhée, maux de tête, hyperglycémie, hépatite, ulcères</p> | | | |
| B5 | Acide pantothénique | <ul style="list-style-type: none"> ♦ Transmission de l'influx nerveux ♦ précurseur du CoA | 10 mg/j | Levures, foie, abats, viandes, poisson, jaune d'œuf, céréales complètes |
| | <p><i>Carence</i> : rare, peu connue <i>Excès</i> : diarrhée à doses très élevées</p> | | | |
| B6 | Pyridoxine | <ul style="list-style-type: none"> ♦ Assimilation du Mg ♦ Coenzyme du métabolisme des protéines et de l'hémoglobine | <p>2 mg/j pour 100 g/j de protéines <i>(dépend de la teneur en protéines)</i> Max. 5 mg/j <i>(limite de sécurité)</i></p> | Germe de blé, levure, saumon, maquereau, céréales |
| | <p><i>Carence</i> : rare, peu connue <i>Excès</i> : diarrhée à doses très élevée</p> | | | |
| B8 Ou H | Biotine | <ul style="list-style-type: none"> ♦ Métabolisme du glucose ♦ Synthèse des AG et du cholestérol | 100 à 300 µg /j | Levure, foie, œufs, flocons d'avoine, riz complet, haricots, avocat, banane |
| | <p><i>Carence</i> : rare, peau sèche, ongles cassant, fatigue, pâleur <i>Excès</i> : pas de surdosage</p> | | | |
| B9 | Acide folique | <ul style="list-style-type: none"> ♦ Intervient dans le processus de renouvellement cellulaire ♦ synthèse de l'acide nucléique et des globules rouges | <p>100 à 200 µg /j 1 mg /j <i>(limite de sécurité)</i></p> | Levures, foie, épinards, œufs, légumes verts, chou-fleur, endive, laitue, tomate |
| | <p><i>Carence</i> : Anémie, fatigue musculaire, crampes, maux de tête <i>Excès</i> : troubles neurologiques (consommation supérieure à 5 mg)</p> | | | |
| B12 | Cobalamine | <ul style="list-style-type: none"> ♦ Renouvellement cellulaire, en association avec la vitamine ♦ maintien de l'intégrité du système nerveux | 3µg /j | Poisson, viande, foie, lait |
| | <p><i>Carence</i> : risque chez le sportif végétalien avec anémie, fatigue et troubles de l'humeur voire maladie de Biermer (anémie pernicieuse mégaloblastique) <i>Excès</i> : pas de surdosage</p> | | | |
| C | Acide ascorbique | <ul style="list-style-type: none"> ♦ Antioxydant ♦ Augmente l'absorption du fer ♦ Facilite l'adaptation du corps à la chaleur et au froid ♦ Stimule le système immunitaire dans le traitement curatif et préventif des infections hivernales ♦ Participe à la synthèse du collagène : possible effet sur la réparation des microlésions et la récupération.[37] sans augmentation de la capacité à l'effort ou à la performance.[38] | <p>100 à 110 mg/j Max. 180 mg/j <i>(au delà, c'est un médicament)</i></p> | Poisson, viande, foie, lait |
| | <p><i>Carence</i> : gingivites et hémorragies avec un retard de cicatrisation (Scorbut) <i>Excès</i> : brûlures gastriques et de diarrhée osmotiques</p> | | | |

3.2.2. Les minéraux et oligoéléments

Regroupés sous le terme de sels minéraux, les minéraux et oligoéléments sont des éléments inorganiques que l'on retrouve dans l'alimentation. Leur répartition n'est pas homogène au sein de l'organisme et ils vont participer à plusieurs fonctions, comme à la structure de l'organisme, à ses fonctions et à la régulation du métabolisme cellulaire. Le tableau 11 détaille l'ensemble de ces points pour les principaux minéraux et oligoéléments.

En fonction des quantités à apporter à l'organisme, on parle de minéraux, comme le sodium (Na), le potassium (K), le calcium (Ca), le phosphore (P), magnésium (Mg), lorsque l'alimentation exige un apport quantifiable en gramme. Ces composés sont liés à des structures protéiques, réduisant leur présence à l'état libre et entraînant leur faible biodisponibilité.

Les oligoéléments sont principalement le fer (Fe), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le fluor (F), l'iode (I), le manganèse (Mn) et le sélénium (Se), ainsi que le chrome (Cr), le molybdène (Mo), le silicium (Si), le vanadium (V), le nickel (Ni), l'étain (Sn) et le cobalt (Co). Leurs apports conseillés sont de l'ordre de traces (moins de 100 mg/j).

Chez le sportif, les pertes en minéraux sont plus importantes mais largement compensées par une alimentation variée classique, sauf pour le sodium, le calcium et le fer. Sur l'ensemble des oligoéléments, seul un faible nombre est susceptible de subir des variations dues à l'effort.

Tableau 11. ANC en oligoéléments chez l'adulte.[16][19][18]

Tableau 11. ANC en oligoéléments chez l'adulte.[16][19][18]

| | Source | Rôle | ANC | Aliment |
|----|---|---|--|---|
| Na | Principal ion extracellulaire Chlorure de Na Monoglutamate de Na | <ul style="list-style-type: none"> Pression osmotique : contrôle les volumes et leur répartition dans les compartiments liquidiens Equilibre acido-basique Rythme cardiaque Génère l'influx au niveau des fibres nerveuses et musculaires | <p>1 g /j (sédentaire)</p> <p>Supplémentation post-compétition : Effort < 1h : pas de supplémentation Effort > 1h : 1,2 g/L de boisson</p> | Sel de table (chlorure de Na) pour 50 %, légumes, aliments ayant subi une salaison (charcuterie, fromage), boissons effervescentes, plats cuisinés industriels |
| | Carence : rares, déshydratation extracellulaire (peau sèche, tachycardie, hypotension) et une hyper hydratation cellulaire (crampes, céphalées, vomissements, fatigue). Elle peut apparaître au cours d'efforts répétés et/ou prolongés via une évacuation à travers la transpiration. Excès : hypertension artérielle | | | |
| K | Principal ion intracellulaire Gluconate de potassium | <ul style="list-style-type: none"> Transmission de l'influx nerveux Contraction musculaire Rythme cardiaque et maintien de la pression artérielle Métabolisme des protéines et du glycogène | <p>1,8 g/j</p> <p>2 à 3,5 g/j (sportif)</p> <p>Supplémentation post-compétition : Effort > 3h : 0,4 g/L de boisson</p> | Légumes (lentilles, pois cassés, champignons), fruits frais et secs (bananes, abricots secs, figues sèches, raisins secs, amandes), viandes, chocolat, vin |
| | Carence : Accidents vasculaires graves Excès : Fatigue, anomalies de l'électrocardiogramme ou une alcalinisation des urines. | | | |
| Mg | Ion intracellulaire | <ul style="list-style-type: none"> Minéralisation de l'os, en synergie avec le Ca. Facilite la synthèse de glycogène hépatique et musculaire, des lipides et protéines ainsi que le catabolisme du glucose, des AG et des AA Permet aux vitamines B de devenir des coenzymes actifs. Contraction musculaire : un déficit en magnésium provoque une augmentation du flux calcique intracellulaire, ce qui entraîne une hyperexcitabilité musculaire avec apparitions de crampes ou myalgies, ou, au niveau du myocarde, torsade de pointes ou arythmies. | <p>420 mg/j (homme)</p> <p>360 mg/j (femme)</p> <p>30 mg/h d'exercice soit</p> <p>6 mg/kg/j (sportif)</p> | Cacao, soja, amandes, arachides, noix et noisettes mais, pain complet et blanc, lentilles, épinards, avocat, banane, ris, persil et pomme de terre. Eaux minérales : Vittel et Hépar (110 mg/L), Badoit (86 mg/L), Contrex (53 mg/L) et Vichy (67 mg/L). |
| | Carences : crampes, asthénie, diminution de la résistance à la chaleur, anxiété, nervosité avec fatigue, possible spasmophilie. Excès : laxatif et hypertension, avec une diminution du métabolisme du zinc | | | |
| Ca | Se fixe essentiellement au squelette | <ul style="list-style-type: none"> Formation osseuse (99%) : croissance et solidité de l'os, du cartilage et des dents. Sous l'action de la vitamine D, le calcium et le phosphore vont en effet se fixer à l'os, ce qui constitue le principe de minéralisation osseuse. Coagulation sanguine, conduction nerveuse, fonction enzymatique, contraction musculaire (1%) | <p>900 mg /j</p> <p>1,2 g (Ménopausée)</p> <p>1,5 g/j (sportif)</p> <p>Max.2500 mg/j</p> <p>Compléter avec de la vitamine D.</p> | Laitages, fromages (le gruyère étant le plus riche), légumes verts, légumes secs, fruits frais ou secs. Eaux minérales : Hépar, Contrex, Vittel, Badoit |
| | Carence : souvent liée à un déficit en vitamine D, tremblements ou des crampes, voire troubles cardiaques en cas de carences profondes. A plus long terme, elle entraîne des troubles de minéralisation de l'os (rachitisme/ostéomalacie avec une carence en vitamine D), ou des pertes excessives de substance osseuse avec ostéoporose chez le sujet âgé et des fractures chez le sportif.[37]4 Excès : au long terme, hypercalcémies avec lithiases urinaires. | | | |
| Fe | Dans l'organisme : 60 % hémoglobine, 3,5 % myoglobine, 20 % hémossidérine ou ferritine, 1% transferrine | <ul style="list-style-type: none"> Transport de l'oxygène: il s'y combine au niveau de l'hémoglobine sanguine (transport poumons – tissus périphériques) et de la myoglobine musculaire (stockage). Réactions enzymatiques : métaboliques et transferts d'énergie (cytochromes, catalases, peroxydases). <p>Biodisponibilité : Fer non hémérique (animal) 25 % ; Fer non hémérique (végétal) 5 %</p> | <p>10 à 12 mg /j</p> <p>jusqu'à 15 mg/j (femmes et sportifs hommes)</p> <p>jusqu'à 20 mg/j (femmes sportives)</p> | farine de soja, cacao, foie de bœuf, abats, haricots blancs, lentilles, jaune d'œuf, pois secs, persil, et viandes. L'acide phytique et les tanins présents dans les végétaux et le thé réduisent l'absorption. La vitamine C, les protéines et le fer hémérique améliorent l'absorption du fer non hémérique. |
| | Carence : anémie ferriprive, à l'origine d'une fatigue générale physique et intellectuelle La diminution du nombre de globules rouges entraîne de plus des dyspnées avec une mauvaise oxygénation de l'organisme, tachycardies et palpitations ainsi que des maux de tête. Une supplémentation médicamenteuse en fer sera envisagée après un bilan diététique et biologique : 50 à 100 mg de sel ferreux, en dehors d'un repas avec un jus d'orange (vitamine C), mais attention au risque de surdosage. Excès : par prise alimentaire, très rare. On y retrouve des complications touchant le foie, le pancréas, le cœur et l'hypophyse, avec des troubles digestifs, du diabète et des troubles hormonaux ou encore cardiaques. | | | |
| Zn | gluconate de zinc et du sulfate de zinc (sels mieux absorbés dans la lumière intestinale) – en compétition avec le fer et le cuivre (à absorber à distance) | <ul style="list-style-type: none"> Cofacteur enzymatique : réactions antiradicalaires ou de renouvellement cellulaire, Métabolisme énergétique des macronutriments en synergie avec les vitamines : synthèse des protéines au moment de la transcription (+ vitamine B6), synthèse du collagène (+ vitamine C), minéralisation osseuse (+ vitamine D). Système immunitaire : Maturation des lymphocytes T et à la production des immunoglobulines G et M. | <p>12 à 15 mg /j</p> <p>jusqu'à 20 mg/j (sportifs)</p> <p>soit</p> <p>1 mg supplémentaire/ 100 kcal dépensées</p> | Animales (poissons, fruit de mer, viandes rouges) et végétales (céréales complètes), qui sont de moins bonnes sources de zinc parce qu'il est présent en moins grande quantité et que sa biodisponibilité est faible : son absorption digestive est diminuée en présence de phytates et de fibres. |
| | Carence : retard de croissance, altération de la perception du goût, diminution du système immunitaire avec augmentation de la fréquence des infections et un retard de cicatrisation. Excès : rare, troubles gastro-intestinaux et diminution de l'absorption du cuivre (en compétition dans la lumière intestinale). | | | |
| Se | Il est impossible de prédire ses concentrations corporelles à partir de l'apport alimentaire car son utilisation et sa rétention sont dépendantes de la présence d'acide folique, de vitamine B12 et négativement affectées par la présence d'homocystéine. | <ul style="list-style-type: none"> Anti-oxydant Détoxifie le corps en se liant aux métaux lourds (arsenic, argent, plomb) pour réduire leur toxicité Inflammation Allergie Fluidité sanguine Vieillesse cellulaire. | <p>60 µg/j (homme) 50 µg/j(femme)</p> <p>Max. 150 µg/j (limite toxique)</p> <p>Seuil toxique et dose recommandée proche, il faut être attentif.</p> | Sa teneur varie en fonction des sols (végétaux) et de l'alimentation des animaux (produits laitiers, fruits de mer). La nutrition occidentale satisfait les besoins quotidiens. |
| | Carence : atteintes de la peau, des articulations et des muscles, augmentation des processus inflammatoires, susceptibilité accrue aux infections, troubles neurologiques avec atteinte des capacités de mémorisation et, à terme, une cardiomyopathie de Keshan (maladie cardiaque mortelle), qui correspond à une absence totale de Se dans l'alimentation. Excès : toxique à trop forte dose, avec nausées, diarrhées, fragilisation des ongles, perte des cheveux ou fatigue. | | | |

Discussion

Si le sportif a une alimentation équilibrée, le déficit en magnésium est peu probable. Mais en cas d'apports alimentaires insuffisants, il est recommandé d'apporter un complément, de préférence associé à la vitamine B6 ou à la taurine qui permettent une meilleure rétention du minéral dans l'organisme (Magnévie B6[®], Mag 2[®]). En revanche, il semblerait que la supplémentation magnésique n'exerce pas d'effet bénéfique sur les performances en l'absence de déficit.[18]

Les contraintes mécaniques exercées sur l'os lors de l'effort favorisent l'augmentation de la masse osseuse, jusqu'à maturation, et permettent de retarder le vieillissement du squelette. Cependant, chez les pratiquants exerçant un sport intense, une déminéralisation apparaît avec survenue de fractures de fatigue. Un apport insuffisant en calcium libère celui jusqu'à lors fixé sur l'os, ce qui le fragilise et augmente le risque d'ostéoporose et de fracture chez le sportif.[18] A côté de ce phénomène, un apport accru en produits azotés semble lié à une augmentation de la calciurie, soit par augmentation de l'excrétion rénale du calcium, soit par augmentation de son absorption intestinale (mécanisme encore mal connu). Une complémentation calcique chez les athlètes de force ayant un régime riche en protéines est ainsi conseillée.[25] [26] Il est également intéressant de supplémenter le public féminin : chez les jeunes athlètes féminines ayant des entraînements intenses, chez lesquelles on observe des troubles des cycles menstruels avec aménorrhée, le déficit calcique est plus important, tout comme le risque d'ostéoporose et de fracture de fatigue. Un traitement par oestrogènes en plus de la supplémentation calcique peut être discuté.

La carence en fer est fréquente chez le jeune sportif et toucherait 22 à 25 % de la population féminine et 10 % de la population masculine. Toute anémie entraîne une légère incapacité à effectuer un exercice, même de faible intensité. En effet, les besoins en fer augmentent avec l'entraînement physique. Ce dernier provoque une élévation des pertes de fer dans la sueur, des pertes d'hémoglobine dans les urines dues à la destruction des globules rouges provoquée par des traumatismes mécaniques prenant leur origine dans le martèlement des pieds sur la surface de course, dépassant ainsi les apports. Une supplémentation paraît de plus primordiale puisque plusieurs études ont montré qu'en cas de carence, même sans anémie, elle serait bénéfique sur les performances physiques et intellectuelles. En revanche, ceci n'a pas été retrouvé

dans les études sur des sujets non carencés. Une supplémentation systématique ne semble pas adéquate en absence de déficience, et peut provoquer des désagrément digestifs et réduire l'absorption d'autres minéraux tels que le zinc.[18]

Malgré des états de carence plus fréquents chez les sportifs, la nécessité de supplémenter en zinc n'est pas encore établie. Quelques études portant sur la supplémentation en zinc chez le sportif carencé ont montré une augmentation de la performance.

Commercialisé sous forme de compléments pour augmenter la performance d'exercices en aérobie, le sélénium pourrait être à l'origine d'une réduction de la peroxydation des lipides, mais sans affecter la performance. Il est préférable d'apporter le sélénium grâce à une alimentation variée, équilibrée et riche en cet élément, ou en synergie avec d'autres compléments nutritionnels anti-radicalaires.

3.2.3. Le stress oxydatif

L'utilisation des voies métaboliques pour produire de l'énergie lors de l'effort physique présente des effets adverses sur la santé ; c'est à ce niveau que l'optimisation de la micronutrition va s'avérer être un atout chez l'athlète.

Le stress oxydatif se définit comme un déséquilibre aboutissant à une surproduction de radicaux libres qui échappent aux systèmes de défenses. Ces atomes réactifs se retrouvent à l'état libre, puisque portant un électron non apparié, et ont tendance à se ré-apparier en déstabilisant alors des cibles cellulaires devenant à leur tour radicaux libres, ce qui initie une réaction en chaîne.

Pour illustration, la mitochondrie, principal outil de la filière aérobie, consomme plus de 90 % de l'oxygène utilisé par les cellules et la chaîne respiratoire génère un flux continu de radicaux libres dérivés de l'oxygène, l'anion superoxyde, représentant 2 à 3 % de la quantité d'oxygène consommé. La formation de ce radical est principalement liée à l'activité physique et se trouve fonction de l'intensité de l'exercice et de la consommation d'oxygène. Les métaux de transition comme le chrome, le cuivre mais aussi le fer libre ont d'ailleurs un rôle catalytique dans cette réaction (figure 15). Il existe de nombreux autres mécanismes de production de ces

radicaux libres, que nous ne détaillerons pas ici, comme par exemple l'inflammation, deuxième source importante de production de radicaux oxygénés.

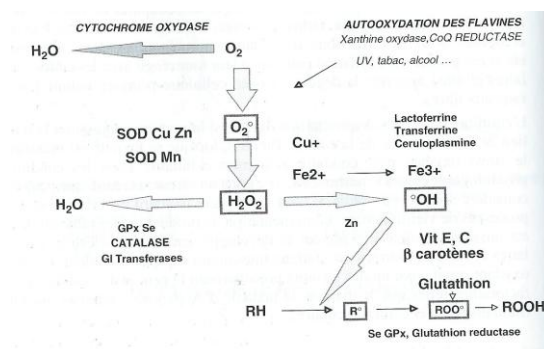


Figure 15. Radicaux libres et systèmes de production antioxydants.[18]

Les premières cibles des radicaux libres sont les doubles liaisons des AGPI, ce qui altère la perméabilité des membranes jusqu'à entraîner une nécrose cellulaire : c'est la lipoperoxydation. Les protéines peuvent également subir des modifications, comme la dénaturation des enzymes, l'oxydation des acides aminés, une fragmentation des polypeptides. Le stress oxydatif peut aussi influencer la régulation des gènes via l'activation de facteurs de transcription, ou une oxydation des bases de l'ADN à l'origine de mutations.

Pour se protéger, le corps utilise des dispositifs endogène et exogène (Figure 15). Le système endogène utilise des enzymes antioxydantes, comme les superoxydedismutases (SOD) capables d'éliminer l'anion superoxyde ($O_2^{\cdot-}$) en le transformant en eau oxygénée (H_2O_2) avec la coaction du Cu, du Zn et du Mn, ou encore les catalases et la glutathion peroxydase qui permettent de détruire l' H_2O_2 néoformé, avec l'aide du Se. A côté de cela, l'efficacité du système exogène dépend de l'apport alimentaire en vitamines et oligo-éléments : la vitamine E, le β -carotène, le lycopène, la lutéine et la vitamine C ainsi que les polyphénols, phytates et alcaloïdes agissent en captant l'électron célibataire du radical libre, ce qui le transforme en molécule stable.

La production de ces radicaux libres est intimement liée à l'exercice par hyperactivité biochimique (augmentation importante du flux de réactions oxydatives lors du métabolisme aérobie) et processus inflammatoire d'ischémie-reperfusion, tous deux à l'origine d'une souffrance cellulaire.

Ce processus d'ischémie-reperfusion est une redistribution des débits sanguins locaux ; les reins, mal irrigués pendant l'exercice, ou encore les muscles actifs eux-mêmes, vont voir naître des foyers d'ischémie transitoire en leur sein, qui seront le plus souvent reperfusés à l'arrêt de l'exercice. Ce système est à l'origine de la transformation de l'hypoxanthine en acide urique via la xanthine oxydase qui utilise alors l'oxygène comme accepteur d'électron en produisant un radical libre.

Par ces deux procédés surgissent alors des microlésions tissulaires, avec notamment des dommages axés sur la membrane cellulaire après lipoperoxydation, signant une perte de fluidité et une augmentation de la perméabilité membranaire (avec pertes de protéines du cytosol).

Il semble que les entraînements par exercices répétés induisent une augmentation des systèmes de défenses contre les espèces radicalaires. La plupart des études mettent en avant une diminution, avec un entraînement en endurance, du niveau de la lipoperoxydation membranaire et de la production de radicaux libres lors d'exercices uniques.[39] Le développement du stress oxydatif est d'autant plus évident que l'épreuve est d'intensité élevée et que le sujet est peu entraîné ; à l'inverse, l'exposition répétée d'une pratique sportive régulière chez le sujet entraîné conduit l'organisme à développer des systèmes de défenses contre le stress oxydatif. Cette réponse adaptative explique les résultats parfois controversés des études, selon qu'il s'agit d'une population entraînée ou non.

Les supplémentations en antioxydants, pourtant utiles chez les sujets déficients, restent néanmoins discutées chez le sujet non déficient.

3.2.4. Compléments oligo-minéralo-vitaminiques sur le marché

Les vitamines et les minéraux ont donc des rôles importants au sein de l'organisme, concourant tous à la production de l'énergie lors de l'exercice physique.[27][40]

Les risques de déficiences de la population adulte générale sont plus ou moins importants en fonction des vitamines ou des minéraux : par exemple, 20 % des adultes ont des apports inférieurs à 2/3 des ANC en vitamine C et 40 % des femmes ont des apports en magnésium se situant en dessous de 2/3 des ANC.[41]

Du fait de l'augmentation des pertes urinaires et sudorales en vitamines et oligoéléments, on considère d'une manière générale que les besoins pour les sportifs sont augmentés par rapport à la population générale, dans une optique de prévention de déficiences qui entraîneraient des dommages musculaires.

Les déficiences doivent être prévenues et traitées, puisqu'elles compromettent la santé et les performances de l'athlète. Par contre, en l'état actuel des connaissances, aucun bénéfice ne peut être attendu en termes d'effets ergogéniques par une supplémentation. Ainsi, les populations à risque de déficit, comme les sportifs contrôlant leur poids par régimes restrictifs ou avec pratique récurrente d'exercices répétés et prolongés, doivent en bénéficier à doses nutritionnelles. Pour les autres, une alimentation équilibrée proportionnelle à l'intensité est suffisante, puisqu'un effort modéré et régulier semble conserver au contraire le capital santé.

La liste non exhaustive ci-dessous permet de comparer la quantité d'éléments présents dans cinq spécialités vendues fréquemment pour des sportifs (Tableau 12).

Tableau 12. Composition détaillée de Berocca[®], Azinc[®], Isoxan endurance[®], Isoxanforce[®] et 33 vitamines & antioxydants STC[®].

| | ANC H/F (mg) | Berocca (mg/cp) | Azinc adulte (mg/2 gel) | Isoxanendurance (mg/3 cps) | Isoxan Force (mg/2 cps) | 33 vitamines & antioxydants STC (mg/3 gel) |
|---------------|--------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--|
| Vit. A | 0,8/0,6 | - | 0,8 | - | - | - |
| Vit. B1 | 1,3/1,1 | 15 | 1,4 | 3,3 | 1,3 | 1,1 |
| Vit. B2 | 1,6/1,5 | 15 | 1,6 | 3,6 | 1,5 | 1,4 |
| Vit. B3 | 14/11 | 50 | 18 | 15 | - | 16 |
| Vit. B5 | 5 | 23 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Vit. B6 | 1,8/1,5 | 10 | 2 | 2 | 2 | 1,4 |
| Vit. B8 | 0,05 | 0,15 | 0,15 | 0,1 | - | 0,05 |
| Vit. B9 | 0,3 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Vit. B12 | 0,0024 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,003 | 0,0025 |
| Vit. C | 110 | 500 | 120 | 150 | 120 | 120 |
| Vit. D | 0,005 | - | 0,005 | - | - | - |
| Vit. E | 12 | - | 10 | 24 | 18 | 12 |
| Ca | 900 | 100 | 120 | - | - | - |
| Mg | 420/360 | 100 | - | 130 | 120 | - |
| Zn | 12/10 | 10 | 15 | 14 | - | 5 |
| Fe | 9/16 | - | 8 | 10 | 10 | - |
| Se | 0,06/0,05 | - | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Ch | 65/55 | - | 0,025 | - | - | 0,025 |
| I | 150 | - | - | - | - | 0,15 |
| Manganèse | - | - | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 2 |
| Molybdène | - | - | 0,08 | - | - | 0,05 |
| Cu | 2/1,5 | - | 1,5 | 2 | 2 | 1 |
| K | - | - | - | - | - | 80 |
| Autres | - | - | - | - | Béta-carotène | Caroténoïdes, myrtille, brocoli, feuille d'olivier, romarin, ginkgo, biflavonoïdes de citrus, marc de raisin, SOD, extrait de riz riche en enzymes |

L'intérêt ici ne va pas être de faire une liste des compléments alimentaires sur le marché et de les classer, mais d'utiliser les connaissances concernant chaque micronutriment et d'être capable de trier les informations concernant leur contenu et de choisir les plus pertinents pour compléter le sportif. Par exemple, Berocca[®] est largement plus dosé en vitamines du groupe B que les autres compléments

vitaminiques cités, mais manque d'apports en antioxydants. Ce complément conviendra donc mieux à un sportif carencé ou à risque de carence en vitamines B. Azinc[®] reste le plus complet des produits décrits et apporte des quantités proches des ANC pour chaque micronutriment. Isoxan endurance[®] est plus riche en vitamines B par rapport aux ANC, et apporte une bonne quantité d'antioxydants en lien avec le métabolisme aérobie sollicité. Le complément de chez STC semble présenter ce même avantage et sera à conseiller dans le même type de sport. Isoxan force[®] semble en revanche manquer de cet apport en antioxydants. De plus, l'apport en Ca y est moins important et nous avons pourtant vu que la prise supplémentaire en protéines à laquelle les sportifs de force sont soumis entraîne une fuite du Ca de l'organisme, augmentant le risque de carence. Ceci pourra être corrigé par l'apport via une boisson riche en Ca (Contrex[®] par exemple). L'absence totale de calcium dans le produit STC renforce l'idée qu'il est à conseiller dans les sports d'endurance, mais ceci lui reste préjudiciable. Pour ces spécialités, l'absence d'apport simultané de vitamine D est un point négatif. Pour l'ensemble de ces produits, le magnésium est ici apporté en complément de la vitamine B6 pour toutes les spécialités, ce qui permettra sa rétention dans l'organisme. L'apport en fer en complément de la vitamine C est idéal puisque cela permet une meilleure absorption. On pourra de plus conseiller de prendre le complément avec un grand verre de jus d'orange et éviter le thé. La co-administration du cuivre et du zinc semble être en revanche un non sens puisqu'ils sont en compétition au niveau de l'absorption. Le sélénium, aux doses toxiques proches des ANC, aurait pu être uniquement présent dans les produits destinés aux sportifs d'endurance, puisqu'il est utile dans le métabolisme aérobie. L'absence de supplémentation en sodium et potassium confirme le fait que ces produits sont à consommer sous forme de cure, pendant l'entraînement, et ne sont pas des produits de récupération post-compétition. L'innocuité restera à évaluer par le sportif, celui-ci vérifiera en effet l'absence d'inconfort gastrique, ce qui pourrait signer une surconsommation de ces produits.

3.2. L'hydratation du sportif

L'eau, principal élément de notre organisme, permet de maintenir l'homéostasie au sein de notre organisme. Pour compenser les pertes quotidiennes, dues à la nécessité pour l'organisme d'éliminer le surplus de chaleur libérée par l'activité musculaire,

l'homme doit apporter 2 à 2,5 L d'eau via les aliments (30 %), les boissons (60 %) ou encore de l'eau métabolique produite au cours des réactions énergétiques (10 %).[24] Le moyen de thermolyse le plus efficace chez l'homme est la sudation, qui est influencée par des facteurs extrinsèques, comme l'intensité et la durée de l'exercice, ou encore les conditions climatiques (température de l'air, degré d'humidité, la vitesse du vent) ; mais également intrinsèques comme la capacité du corps à s'acclimater à la chaleur et le niveau d'entraînement. Ceci expose l'athlète à un plus haut risque de déshydratation, compromettant la performance, voire même la santé.[18]

Le débit maximal des pertes varie entre 1 L/h pour les efforts de longues durées et 3 L/h pour les efforts brefs et intenses (moins d'1h sous forte chaleur). Le moyen pour les quantifier est de se peser avant et après l'effort. Lorsque les pertes dépassent 1% du poids corporel initial, il y a un risque pour la santé et une limitation des performances, qui deviennent importants à partir de 5 % et majeurs au delà de 10 %.[24] Les études montrent que pour des exercices de moins d'une heure dans des conditions climatiques normales, la déshydratation occasionnée n'a pas d'impact sur la performance, la stratégie de réhydratation sera donc à optimiser surtout dans les sports sollicitant la filière aérobie.

3.2.1. Effets sur la performance

Les fonctions cardiovasculaires et la thermorégulation sont très sensibles à l'hydratation corporelle : les pertes sudorales non compensées de plus de 2 % du poids corporel entraînent une réduction du volume d'éjection systolique, un rythme cardiaque qui s'accélère pour maintenir le débit cardiaque, et une hypovolémie à l'origine d'une altération des capacités de thermorégulation au détriment de la performance, entraînant un accroissement de la température corporelle.[24][42] Au delà de 5 % de déshydratation, peut survenir l'« hyperthermie maligne d'effort », observable lors d'un effort intense ou prolongé, effectué dans des conditions climatiques particulières, comme une température extérieure et un taux d'humidité élevés, ou encore en l'absence de vent. Les symptômes sont une augmentation de la température corporelle jusqu'à 40°C, une coordination motrice difficile, des troubles neurologiques (agitation, confusion, coma, convulsions), provoquant un malaise. Il peut plus rarement y avoir des vomissements voire des troubles hémodynamiques ou respiratoires.[18]

Les premières mesures à prendre dans ce cas seront de refroidir la personne avec de l'eau, en la plaçant dans un endroit ombragé et frais. Les formes mineures ont un bon pronostic avec une normalisation de la température centrale et un retour à l'état neurologique normal après refroidissement du corps. Néanmoins, la persistance d'une hyperthermie et du coma malgré des interventions thérapeutiques peut conduire au syndrome de défaillance multiviscérale (choc hypovolémique, insuffisance rénale, syndrome de détresse respiratoire aiguë et insuffisance hépatocellulaire). Cette dernière évolution conduit au décès du patient et concerne au moins 5 % des patients hospitalisés suite à une hyperthermie maligne d'effort.[43]

3.2.2. Apport hydrique du sportif

Pour le sportif, il est donc recommandé de s'hydrater régulièrement avant, pendant et après un effort aérobie pour compenser les pertes liquidiennes.

Avant l'effort, le sportif doit augmenter ses apports jusqu'à 2,5 L d'eau par jour dans les 3 jours précédant la compétition pour mettre en réserve l'eau dans les tissus. Il doit ensuite absorber environ 1 L d'eau dans les 2 heures précédant l'exercice. Pour estimer son état d'hydratation, il est possible de regarder la coloration de ses urines : si elles sont foncées, et ainsi concentrées, il faut continuer de boire.[28]

Pendant l'effort, une sensation de soif du sportif indique déjà une déshydratation, le sportif doit donc se forcer à boire dès le début de l'exercice. Il est conseillé de fractionner les prises, de s'hydrater toutes les 15 à 20 minutes avec 125 à 250 mL d'eau, volume alors à adapter en fonction de la tolérance de chacun.[18]

Pour rendre cette hydratation moins contraignante, la prise sera davantage appréciée si la boisson est fraîche (< 15°C) et/ou aromatisée, plutôt que chaude.[18]

Pour les exercices de moins d'une heure, l'eau seule peut suffire ; mais pour des efforts plus longs effectués dans des conditions climatiques contraignantes, l'ingestion de boisson iso-osmotiques contenant 60 g/L de glucides et 1,2 g/L de chlorure de sodium est conseillée. Ceci permet le maintien du volume plasmatique, limitant ainsi l'élévation de la fréquence cardiaque et de la température corporelle.[18]

En cas de non compensation des pertes sodées par un apport régulier de boisson adaptée, les signes les plus fréquents de l'hyponatrémie symptomatique sont des nausées, vomissements, confusion et vertiges. C'est l'hyponatrémie sévère qui peut être à l'origine des séquelles neurologiques et aboutir à un coma de l'athlète.[18]

Après l'effort, il sera également intéressant de continuer à boire pour éliminer les déchets produits (acide lactique et urée), participer à l'anabolisme musculaire et combler la perte d'eau.

3.2.4. Les boissons de l'effort

Les boissons de l'effort, qui servent à réhydrater correctement le sportif, sont à différencier des boissons énergisantes, qui contiennent des éléments ergogènes, développés dans la troisième partie, visant à améliorer les performances. Pendant l'effort, l'important est de prendre en compte l'osmolarité de ces boissons :

- Hypotoniques (< 4g/100 mL de sucres) : ce type de boissons ne permet pas une assimilation optimale des nutriments. Elles sont à privilégier dans les conditions extrêmes : altitude, fortes chaleurs. Elles sont obtenues par dilution de boissons isotoniques (eau plate, thé non sucré) ou prêtes à l'emploi.

Climadrink - Energiz'heureTM – Temps chaud (Oxistis) :

Pour 70 mL à diluer dans 600 mL d'eau ou en gel prêt à l'emploi :

Composition : Glucides (23g), sel (250 mg), vitamine B1 (0,34 mg)

Energie : 92 Kcal

- Hypertoniques (> 8g/100 mL de sucres) : comme les jus de fruit (jus de raisin), sodas ou boissons très concentrées. Elles sont à éviter puisqu'elles favorisent le transfert d'eau vers le tube digestif, augmentant ainsi la déshydratation. Il est possible d'utiliser ce type de boisson néanmoins en cas de temps froid puisque les pertes en eau par sudation sont plus faibles et les besoins énergétiques sont plus élevés.

Climadrink - Energiz'heureTM – Temps froid (Oxistis) :

Pour 70 mL à diluer dans 600 mL d'eau ou en gel prêt à l'emploi :

Composition : Glucides (47 g), sel (280 mg), vitamine B1 (0,34 mg)

Energie : 187 Kcal

- *Isotoniques* (entre 4 et 8 g/100 mL de sucres): c'est la catégorie de boissons la plus efficace pour la réhydratation, car elle est rapidement absorbée au niveau intestinal et apporte des minéraux et des vitamines nécessaires au métabolisme énergétique.

Climadrink - Energiz'heureTM – Climat tempéré (Oxistis) :

Pour 70 mL à diluer dans 600 mL d'eau ou en gel prêt à l'emploi :

Composition : Glucides (38 g), sel (280 mg), vitamine B1 (0,28 mg)

Energie : 154 Kcal

Malgré une ingestion d'eau pendant l'effort, la balance hydrique doit être équilibrée même après l'effort. La récupération permet ainsi de compenser les pertes hydroélectriques, en ne buvant non pas de l'eau simple, mais une eau riche en sels minéraux comme les eaux bicarbonatées sodées : Arvie, Quézac, Badoit, Salvetat. De plus, ces dernières limitent l'acidité produite par le muscle pendant l'effort en la tamponnant, ce qui permet de diminuer la fatigue musculaire et de favoriser la récupération.[44]

4. Programme de nutrition

Cette étude détaillée des éléments de nutrition a permis de rassembler l'essentiel des informations sous forme de fiches destinées à être distribuées au public sportif en fonction du sport pratiqué. L'annexe 3 permet dans un premier temps de réaliser une collecte alimentaire pour que l'athlète puisse établir le bilan de son état nutritionnel. L'annexe 4 prodigue des conseils sur l'alimentation générale en période d'entraînement ; les annexes 5 et 6 concernent plutôt l'alimentation en période de compétition pour les sports d'endurance ou d'activités mixtes d'une part et les athlètes de force devant atteindre des catégories de poids bien particulières, d'autre part. Il faut garder à l'esprit que chaque sportif est un cas particulier et doit adapter son régime en fonction de l'intensité, de la durée, du niveau de son activité physique, mais également en fonction de ses préférences ou de ses aversions culinaires.

PARTIE 3

**Les compléments alimentaires et ergogènes : que sont-ils ? Comment
sont-ils réglementés ? Quelle place prennent-ils dans le marché
pharmaceutique ?**

1. Que sont-ils ?

Du grec « ergon » (énergie) et « genos » (origine), les aides ergogéniques regroupent à la fois les stratégies de préparation physique et psychologique, les aides matérielles, pharmacologiques dopantes et nutritionnelles qui permettent d'augmenter la capacité physique, les performances sportives et la réponse à l'entraînement. Dans ce sens, certaines stratégies nutritionnelles ont été développées dans les chapitres précédents. Les compléments alimentaires ergogéniques agissent pour le renouvellement ou l'augmentation des réserves du corps, ou encore pour faciliter les réactions biochimiques qui fournissent l'énergie. A la différence des produits dopants, ces substances font partie de la ration alimentaire et non de la pharmacopée, la frontière reste néanmoins assez floue. Des questions restent préoccupantes, liées à la consommation croissante de ces compléments : quelle est la valeur limite entre efficacité et toxicité ? A quelles normes, en termes de qualité, efficacité et étiquetage, doivent répondre les laboratoires fabricants avant de les commercialiser pour éviter les fausses allégations ou les risques pour la santé ? Quels circuits de distribution sont en droit de les commercialiser et quelle place prend la pharmacie d'officine sur ce marché ? Avant de tenter d'y répondre, nous allons présenter les principaux compléments ergogènes et discuter de leurs éventuels effets sur les performances sportives.

1.1. Les acides aminés branchés

Les BCAA composent 35 % des acides aminés des protéines musculaires. Le corps ne peut pas produire ces acides aminés, ils seront apportés par l'alimentation.[18]

Pour pénétrer au sein du système nerveux central, les BCAA sont en compétition avec le tryptophane, précurseur métabolique de la sérotonine, impliqué dans l'induction du sommeil, la réduction de l'excitabilité neuronale et la suppression de l'appétit. Lors d'exercices prolongés, les BCAA sont consommés par le muscle et le taux de tryptophane traversant la barrière hémato-encéphalique se retrouve augmenté, ce qui serait à l'origine de la fatigue centrale.[45] Il convient donc de se demander si la fatigue accrue ressentie par un sportif en lien avec sa performance pourrait être évitée par une supplémentation en BCAA.

Les études réalisées s'accordent pour conclure qu'un apport oral en BCAA au cours d'exercices de longues durées ne semble pas améliorer les performances physiques, [46] ce qui reconsidère l'hypothèse initiale de modulation de la fatigue centrale. Il est probable que la pénétration du tryptophane au niveau central ne soit pas forcément suivie d'altérations fonctionnelles. En revanche, l'apport en petites quantités de BCAA, toujours dans les sports de longues durées (entre 1h30 et 3h30), pourrait permettre d'augmenter les performances mentales, mais ces observations restent difficiles à confirmer étant donné la subjectivité interpersonnelle de perception de l'effort. Il a enfin été montré qu'une supplémentation avant et les 3 jours suivant l'exercice favorise la synthèse protéique musculaire et limite les courbatures qui apparaissent entre 24 et 48h après.[47] La prise de BCAA en tant que complément pour la récupération reste discutée : aucune diminution directe des marqueurs sanguins liés aux dommages musculaires (CPK et LDH) n'a été mise en lumière, mais seulement une augmentation moins importante de leur production post-exercice. Il faut rester vigilant puisque ces composés présentent une source importante d'ammoniac après leur dégradation, pouvant alors être à l'origine d'une toxicité centrale s'il n'est pas correctement éliminé.[46] Reste encore à déterminer la dose quotidienne à ingérer : sur les exercices de longue durée, une quantité de 12 g/j pendant 15 jours en plus d'une ration protéique quotidienne de 1,6g/kg/j avec une consommation de 20 g avant et après l'exercice a été testée. Sur un exercice de force type squat, il s'agissait d'une supplémentation de 5 g avant l'effort, sans considération de la fraction protéique totale consommée quotidiennement. Une récente étude a toutefois montré qu'une consommation maximale de leucine de 500 mg/kg/j augmentait les concentrations d'ammoniac au-delà de la normale tolérée de 35 $\mu\text{mol/L}$. [48]

Les laboratoires commercialisent les BCAA (tableau 13) en tant qu'agents impliqués dans la stimulation de la synthèse protéique, en leur attribuant un rôle dans la récupération, et dans l'amélioration des performances mentales au cours de l'effort.

Tableau 13. Compléments alimentaires à base de BCAA disponibles en pharmacie
(liste non exhaustive).

| | BCAA Synergy + (STC nutrition®) | B.C.A.A. (Eatfit®) | BCAA 211 (NH CO nutrition®) |
|------------------------------|---|---|--|
| Composition | Pour 4 gélules : (1,8 g de BCAA) L-Leucine (600 mg), L-Valine (300 mg), L-isoleucine (300 mg), L-glutamine (600 mg), vitamine B6 (1,4 mg), vitamine B2 (1,4 mg) et vitamine B12 (2,5 µg) | Pour 6 gélules : (1,8 g de BCAA) L-Leucine (720 mg), L-Valine (720 mg), L-isoleucine (360 mg), vitamine B6 (2 mg) | Pour 4 comprimés : (4g de BCAA) L-Leucine (2000 mg), L-Valine (1000 mg), L-isoleucine (1000 mg), vitamine B6 (1,4 mg) |
| Conseil d'utilisation | 4 gélules par jour, le soir au coucher ou 2 gélules 1 heure avant l'effort et 2 gélules dans les 30 minutes après l'effort. | 6 gélules par jour, 3 gélules 1h30 avant l'entraînement ou l'épreuve et 3 gélules 1h30 après. A prendre lors des périodes d'entraînement intensif ou de compétition sur 20 jours, à renouveler à 20 jours minimum d'intervalle. | 4 comprimés par jours, 2 comprimés 30 minutes avant et 2 comprimés 30 minutes après l'effort |
| Objectifs | Constitution musculaire (BCAA, L-Glutamine) et réduction de la fatigue (Vitamine B6 et vitamine B12). | Optimisation de la récupération musculaire, renforcement du tissu musculaire, amélioration de la résistance à l'effort. | Système immunitaire et participe au métabolisme protéique. |

1.2. L'arginine, l'ornithine, la citrulline et le glutamate

Le catabolisme des composés azotés conduit à la production d'ammoniac (NH₃), composé neurotoxique que l'organisme doit éliminer. La glutamine est la forme de transport non toxique de l'ammoniac. Dans les reins et l'intestin, la glutamine circulante est hydrolysée en glutamate et ammoniac. Elle est *a contrario* formée dans les muscles, le foie et le système nerveux pour être ensuite excrétée dans le sang. Ainsi, lors de la désamination des acides aminés, utilisant la glutamine comme dernier intermédiaire, l'ammoniac et le CO₂ (provenant du cycle de Krebs) sont libérés et utilisés par le foie pour la production de l'urée, composé éliminé dans les urines. L'arginine, l'ornithine et le citrulline contribuent ainsi à détoxifier le corps en éliminant l'ammoniac via le cycle de l'urée (figure 16). Une supplémentation en L-citrulline et/ou L-arginine fait partie intégrante du traitement des perturbations du cycle de l'urée.

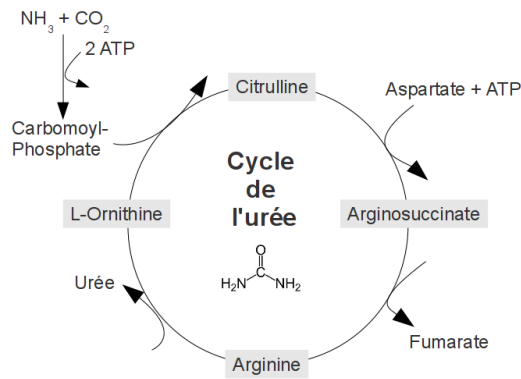


Figure 16. Le cycle de l'urée.[49]

Les bénéfices de l'arginine dérivent essentiellement de sa capacité à libérer du monoxyde d'azote qui, une fois synthétisé au niveau de l'endothélium vasculaire des muscles lisses, exerce un effet vasodilatateur. Celui-ci augmente l'afflux sanguin, donne un aspect congestionné au muscle et pourrait diminuer les dommages liés au stress oxydatif en diminuant la prolifération des cellules endothéliales.[50] À ce niveau, la L-arginine et la L-citrulline travaillent en synergie : la L-arginine se dégrade en oxyde nitrique et en L-citrulline, alors capable d'être remétabolisée en L-arginine, ce qui produit davantage de monoxyde d'azote. La citrulline, contrairement à l'arginine, n'est pas capturée par le foie et passe librement jusqu'aux reins où elle est métabolisée en cette dernière.

L'hypothèse utilisée par les scientifiques pour l'utilisation de ces composés comme supplément alimentaire dans le sport est qu'une balance azotée positive et l'élévation du taux de monoxyde d'azote (avec des apports en protéines supplémentaires aux dépenses) influencerait la synthèse de l'hormone de croissance et ainsi l'anabolisme protéique.

L'arginine est supposée améliorer, quel que soit le type d'exercice musculaire, la force, la puissance et la récupération musculaire, puisqu'elle augmente le taux de monoxyde d'azote. Les études évaluant ses effets sur la performance restent cependant controversées : seules trois ont réussi à mettre en avant une amélioration suite à une supplémentation en arginine juste avant l'effort.[51][52][53] Reste encore à prouver le lien avec l'augmentation du monoxyde d'azote, qui a été seulement mise en avant dans le cas d'un déficit préalable en arginine.[54] Cependant, d'autres études arrivent à la conclusion que l'arginine n'améliore pas les performances [55][56] et

n'augmente ni la force, ni la masse corporelle (aussi bien la masse maigre que grasse [57]) ou encore l'endurance, et n'améliore pas la réponse de l'organisme à l'effort, même pour des doses de 20 g par jour.[55][58] Les mêmes disparités de résultats sont retrouvées suite à une supplémentation en arginine sous forme de cure de plusieurs semaines.[59][60][61][62] D'autre part, l'arginine par voie orale n'augmenterait pas la sécrétion d'hormone de croissance chez des individus au repos et pourrait même la réduire pendant l'exercice.[63][64] Si l'arginine n'a probablement pas d'effet chez l'athlète, quelques essais montrent, en revanche, qu'elle pourrait en avoir chez des sportifs moins entraînés. Ainsi, des chercheurs ont noté une amélioration de la résistance à l'effort chez de jeunes adultes (moyenne de 24 ans) qui prenaient quotidiennement de 1,5 g à 3 g d'arginine.[65]

L'action de l'ornithine sur la performance est également discutée : une première étude menée sur un exercice progressif de type aérobie conclut que cette supplémentation en ornithine serait sans effet sur la performance [66] alors qu'une deuxième étude réalisée par la même équipe ouvre la réflexion sur le type d'exercice pratiqué et conclut que l'ornithine pourrait augmenter les performance des exercices de type explosifs et répétés, phénomène probablement sans lien avec l'action de l'ornithine sur l'ammoniac.[67]

Une étude chez des personnes pratiquant la musculation a montré qu'une combinaison synergique arginine/ornithine (1 g de chaque AA, 5 jours par semaine durant 5 semaines) avait un effet positif sur leur force, leur masse musculaire et les marqueurs du stress oxydatif.[68][69]

Concernant la citrulline, une équipe de chercheurs a récemment mis en évidence que celle-ci, chez le rat âgé dénutri, module le métabolisme protéique musculaire. Un régime enrichi en citrulline a, en effet, permis une augmentation significative de l'accrétion protéique au niveau musculaire liée à une forte augmentation de la protéosynthèse : l'utilisation de la citrulline a été développée pour cet effet chez le sujet âgé souvent en carence protéique. En étendant cette réflexion au sportif, certaines études ont mis en avant une amélioration des performances suite à une utilisation de citrulline à raison de 1 g/kg/j pendant 4 semaines.[70] Mais là aussi, les études restent controversées.[71][72]

Au vu de l'état actuel des connaissances, la prudence reste de mise : l'efficacité de l'utilisation de ces compléments n'est pas réellement prouvée et l'innocuité de leur utilisation non abordée. Il sera conseillé de supplémenter surtout les sujets peu entraînés pour augmenter leur tolérance à l'exercice, qu'il soit en aérobie ou anaérobie.[71]

Concernant la glutamine, son utilisation augmenterait la synthèse de glycogène musculaire et jouerait un rôle dans la fonction immunitaire normale en minimisant l'impact de l'exercice intense sur le système immunitaire.[73][74] Mais elle n'a cependant aucun effet ergogénique, ni anabolisant prouvé à ce jour.[75][76]

Les spécialités à base d'arginine (Arginine Veyron[®], Sargenor[®]) et de citrulline (Stimol[®]) sont principalement commercialisées en tant que traitement d'appoint des troubles asthéniques. L'ornithine contenue dans le Cetornan[®] est un adjuvant de la nutrition entérale du patient âgé dénutri.

Le tableau 14 montre un exemple de l'utilisation de ces compléments dans le milieu sportif. Il est important de rappeler que l'exercice physique reste le meilleur stimulant de la production d'hormone de croissance et ces compléments restent à utiliser avec précautions chez le sportif. Ils seront contre-indiqués chez les personnes ayant un antécédent d'infarctus du myocarde ainsi que chez l'insuffisant hépatique ou rénal. Les principaux effets indésirables sont des nausées, diarrhées et des maux de ventre.

Tableau 14. Compléments alimentaires à base d'arginine, glutamine, citrulline et d'ornithine disponibles en pharmacie (liste non exhaustive).

| | NO-S max (STC nutrition®) | Glutamine 1200 (STC nutrition®) | Stimium MC3 (Biocodex®) | XXL ultra mass (STC nutrition®) |
|-----------------------|--|---|---|---|
| Composition | Pour 4 gélules : L-Arginine (1200 mg), L-Citrulline (100 mg), L-isoleucine (300 mg), Chorelle (100 mg), vitamine B9 (200 µg), vitamine B12 (2,5 µg) | Pour 3 gélules : L-Glutamine (1200 mg), L-Arginine (300 mg), vitamine B6 (0,7 mg), sélénium (25µg) et zinc (5 mg) | Pour 1 stick Maléate de citrulline (900 mg) | Pour 3 gélules : Colostrum (300 mg), L-Glutamine (255 mg), L-ornithine (255 mg), Fenugrec (255 mg), Eleuthérocoque (150 mg), vitamine PP (16 mg), vitamine B6 (1,4 mg) |
| Conseil d'utilisation | 4 gélules par jour, 2 le matin et 2 le soir avec un verre d'eau, en dehors des repas (au moins 30 min avant ou 2h après). En cure de 30 jours | 3 gélules par jour de préférence le soir au dîner avec un verre d'eau. En cure de 30 jours . | <i>Phase d'attaque</i> : 4 sticks/j pendant 8 j <i>Phase d'entretien</i> : 3 sticks/ j pendant 20 j 3 à 4 programmes/ an <i>Si activité</i> : 30 min avant et après l'effort <i>Si repos</i> : autour des repas | 3 gélules par jours, de préférence le soir avant le coucher avec un verre d'eau. |
| Objectifs | Participer à l' <u>endurance</u> pour les efforts de longue durée et oxygénation musculaire (vitamine B12) | <u>Récupération</u> , métabolisme des protéines et du glycogène (vitamine B6 et zinc) | Participe à la <u>récupération</u> , pour tous les sports et niveaux. Production plus rapide d'ATP et élimination des déchets de l'organisme via le cycle de Krebs. | Gain de <u>masse</u> avec une action sur la prise de poids en stimulant l'appétit (Fénugrec). |

1.3. La L-carnitine

La L-carnitine peut être produite par synthèse endogène, à partir de la lysine et de la méthionine fournie par l'alimentation, ou peut être directement apportée à partir de certaine chair animale.[19]

Au sein du métabolisme énergétique lipidique, intervenant surtout au repos ou lors d'un effort physique prolongé, la L-carnitine augmenterait l'utilisation des corps cétoniques et permettrait l'épargne glucidique.[77] Elle permet le transport des AG jusqu'à la mitochondrie et favorise leur passage à travers la membrane mitochondriale, où ils pourront être dégradés en acétylCoA par β -oxydation. Elle élimine également cet excès en acétylCoA mitochondrial sous forme d'acétyl-carnitine, ce qui régule le rapport acétylCoA/CoA libre et permet la conservation du coenzyme nécessaire au bon fonctionnement des réactions intra-mitochondriales.

L'utilisation de la carnitine pourrait ainsi augmenter l'oxydation des AG à longues chaînes, ce qui permettrait de brûler les graisses en épargnant ainsi les réserves de glycogène, dont l'épuisement est à l'origine d'une baisse des performances en aérobie notamment. La supplémentation ne paraît être de ce fait intéressante que chez le sportif d'endurance. Son utilisation est montée en flèche dans le milieu sportif, mais les résultats obtenus sont en fait restés bien en deçà de leurs promesses.

En effet, aucune étude n'a pu mettre en avant de tels effets : la plupart des études s'accordent pour dire que la supplémentation ne favorise pas le stockage de la carnitine musculaire, ni une oxydation accrue des acides gras à longues chaînes, pas plus que l'épargne du glycogène et ne retarde pas l'apparition de la fatigue.[27][77]

Des effets toxiques ont même été rapportés suite à la prise d'un mélange de L et D-Carnitine. La forme dextrogyre bloque l'activité de la forme lévogyre et donc l'oxydation des acides gras, entraînant myasthénie et rhabdomyolyse chez les sportifs supplémentés à fortes doses. Depuis, seule la L-carnitine est commercialisée.[18]

Tableau 15. Compléments alimentaires à base de Carnitine disponibles en pharmacie (liste non exhaustive).

| | CarnitineComplex (STC nutrition®) | L-Carnitine gélules (Eatfit®) | BCAA 211 (NH CO nutrition®) |
|------------------------------|--|--|---|
| Composition | Pour 6 gélules : L-carnitine (2205,6 mg), extrait ginseng (90 mg), vitamine B6 (2 mg) | Pour 6 gélules : L-carnitine (2202 mg), vitamine B6 (0,21 mg) | Pour 4 comprimés : L-carnitine (2000 mg), extrait de feuille de thé vert (280 mg), bitartrate de choline (220 mg), L-tyrosine (200 mg) |
| Conseil d'utilisation | 3 à 6 gélules par jour, en 1 ou 2 prises avec un grand verre d'eau, de préférence au moment des repas ou une demi-heure avant la séance. En cure de 15 à 30 jours. | 6 gélules par jour, 1h30 avant la séance de sport | 4 gélules par jour, 2 gélules matin et soir les jours sans sport et 4 gélules 1h30 avant l'effort sportif. |
| Objectifs | Performances physiques et mentales (Ginseng) et résistance à la fatigue (Vitamine B6) dans les sports d'endurance. L'utilité de la carnitine n'est pas précisée ... | Contribue à réguler le métabolisme lipidique, améliore la production énergétique | Déstockage, transport (carnitine) et combustion des graisses (thé vert augmente la thermogénèse) |

1.4. La créatine

La créatine peut être synthétisée par le foie, les reins et le pancréas à partir d'acides aminés (dont l'arginine, l'ornithine et la glycine) et est retrouvée dans l'alimentation, comme dans la viande, la volaille et le poisson à raison de 4 - 5 g/kg. La plus grande partie de la créatine est retrouvée dans le muscle squelettique sous forme de PCr. Comme vu dans la première partie, la créatine permet la resynthèse de l'ATP, et l'augmentation de la masse musculaire ; puisque la créatine stimule l'activité des cellules satellites impliquées dans le développement de la masse musculaire.

L'utilisation de la créatine chez le sportif aurait pour but d'accélérer le renouvellement de l'ATP pour maintenir la puissance durant un effort musculaire court et d'augmenter la masse maigre.

Des études ont permis de montrer que la prise de créatine augmentait le poids des sujets supplémentés d'environ 1 à 2 kg.[61] Néanmoins, cette augmentation serait attribuée le plus souvent à une rétention d'eau, avec de faibles variations de la masse musculaire.

D'autres études semblent montrer un effet bénéfique delà prise de créatine sur l'amélioration les performances lors d'exercices musculaire locaux et répétés, de type explosif sur de très courtes durées.[61] Il semble que cet effet soit en partie lié à la plus grande disponibilité en créatine dans le muscle. Cet effet positif est plus marqué chez des sujets sédentaires ou peu entraînés ayant à l'origine un taux de PCr musculaire plus bas.[18] Néanmoins, la créatine n'a pas donné de résultats positifs sur les performances lors d'exercices d'endurance, et elle pourrait même favoriser l'apparition de crampes.[18]

La supplémentation en créatine induit une augmentation de l'excrétion urinaire de créatinine mais ne semble pas affecter la filtration glomérulaire ou la fonction rénale.[78] La prise prolongée de créatinine sur plusieurs années ne semble pas affecter de manière sensible la fonction rénale.[78] Un cas de néphropathie a toutefois été décrit chez un sportif de 25 ans à la suite d'une cure de 15 g/j de créatine pendant plusieurs semaines.[79] La prudence sera donc de mise lors de la prise de créatine à forte dose, en particulier chez les sujets présentant des antécédents de pathologie rénale.

Tableau 16. Compléments alimentaires à base de créatine disponibles en pharmacie
(liste non exhaustive).

| | Créatine effervescent complexe (STC nutrition®) | Pure créatine (Eatfit®) | Créatine 5-R (NH CO nutrition®) |
|------------------------------|--|---|--|
| Composition | Pour 6 comprimés : Créatine monohydratée (3000 mg), L-glutamine (360 mg), L-arginine (300 mg), Taurine (180 mg), caféine (100 mg) vitamine C (80 mg) | Pour 6 gélules ou 1 cuillère à café de poudre : Créatine (3000 mg) | Pour 6 gélules : Créatine (3000 mg), D-ribose (30 mg) |
| Conseil d'utilisation | 2 à 6 comprimés par jour, en 1 ou 3 prises avec un grand verre d'eau, de préférence le matin ou 15 minutes avant l'effort, ou entre 2 séances. En cure de 5 à 15 jours. | 6 gélules par jour ou 1 cuillère à café, 3 gélules 2 fois par jour, matin et soir au coucher, 1 cuillère à café le matin à jeun ou le soir au coucher | 6 gélules par jour, 3 le matin et 3 le midi, ou 3 gélules 1 heure avant la séance de sport à renouveler une fois dans la journée. |
| Objectifs | Puissance et énergie. La créatine améliore les capacités physiques (force et puissance) en cas de séries successives d'exercice intenses pour une consommation de 3 g/j | Augmente la puissance et le volume musculaire, améliore les performances sportives, repousse les limites de la fatigue. | Intervient dans la production immédiate d'énergie (ATP), améliore les capacités physiques lors d'entraînements très intenses et de courte durée. |

1.5. Protéines du petit lait (lactosérum) et la caséine

Aussi appelées « whey protein », les protéines du petit lait constituent environ 20 % du lait de vache, les 80 % restant étant essentiellement composés de caséine. Elles sont particulièrement riches en acides aminés soufrés (méthionine et cystéine), en acides aminés à chaîne ramifiée (leucine, isoleucine et valine) et en glutamine.[80]

Leur consommation permettrait une augmentation de la masse musculaire en stimulant la protéosynthèse ; quelques études ont d'ailleurs montré que le petit-lait était plus efficace sur cette synthèse de protéines au repos et après un exercice de résistance par rapport à d'autres sources de protéines, comme par exemple la caséine.[81][82] Cette supplémentation serait également plus efficace pour diminuer la MG au profit de la MM suite à un exercice de résistance.[83] Par ailleurs, un autre essai indique que la prise d'un supplément de petit-lait hydrolysé peut favoriser la récupération musculaire après l'effort : prédigéré, les AA sont fournis plus rapidement aux muscles qu'avec le petit-lait non hydrolysé ou encore la caséine, qui est digérée plus lentement.[84]

Ces protéines de petit lait doivent être consommées une heure avant ou après l'effort (entre 30 minutes et 1h30 après l'effort) pour qu'elles soient à disposition du muscle

alors que la caséine sera plutôt indiquée en repas de récupération, le soir avant de dormir.[85]Les doses ne doivent pas dépasser 2 g/kg.

Les protéines du petit-lait renferment du lactose : il faudra être vigilant en cas d'intolérance. Elles comportent également des allergènes reconnus.

1.6. Les composés énergisants

1.6.1. La caféine

La caféine est alcaloïde présent dans le café, le thé, le cacao, la noix de kola, les feuilles de maté et la graine de guarana. Une tasse de café contient 30 mg à 120 mg de caféine, mais sa teneur peut varier suivant la quantité et le type de café employé (tableau 17). Dans le thé, les effets de la caféine (aussi appelée théine) sont un peu atténués du fait de la présence des tanins qui agissent en neutralisant la caféine.[37] Ainsi, le thé infusé longtemps augmente sa concentration en tanins ; la caféine sera alors moins absorbée. Elle se retrouve également dans des boissons telles que Coca-Cola® ou Red Bull®, qui, nous le verrons plus loin, sont des boissons énergisantes à déconseiller.

Tableau 17 : Teneur en caféine retrouvée dans quelques produits courants.[37]

| Produits | Caféine (mg) |
|------------------|---------------------|
| Café « Robusta » | 120 mg/tasse |
| Café « Arabica » | 30 à 60 mg/tasse |
| Cacao | 10-15 mg/tasse |
| Coca-cola® | 40 mg/canette |
| Red bull® | 80 mg/canette |

Sur le plan pharmacologique, cette molécule est un tonifiant cardiaque et du système circulatoire.

Les études menées sur l'utilité de la caféine ont montré une amélioration des performances d'endurance avec une amélioration de la mobilisation des acides gras libres permettant d'épargner les stocks de glycogène, ou encore une stimulation du système nerveux avec libération d'adrénaline, une diminution de la perception de l'effort et une amélioration de la vigilance.[86]

La plupart des études ayant montré une efficacité de la caféine ont été réalisées avec des doses de l'ordre de 3 à 4 mg/kg de poids corporel ; quelques études se sont montrées positives avec des doses plus faibles (1-2 mg/kg). Au delà du dosage de 3-4 mg/kg, les effets ne sont par contre pas renforcés.[87][88]

Une fois ingérée, le pic d'absorption de la caféine apparaît entre 30 et 60 minutes mais les effets semblent persister plusieurs heures après l'ingestion : les effets cérébraux (éveil et vigilance) s'observent dès la première heure après l'ingestion, alors que les actions métaboliques surviennent 3-4 heures après.[89]

En résumé, pour des effets psycho- stimulants maximaux, l'ingestion de la caféine se fera une heure avant le départ. Par contre, pour un effet métabolique, l'ingestion s'effectuera trois heures avant l'effort.

Enfin, il existe des différences de sensibilité à la caféine : chez un sujet bien entraîné, consommant beaucoup de glucides et habitué à consommer du café ou du thé, l'effet ergogénique de la caféine sera très faible. Ainsi, les sportifs devraient éviter la consommation de caféine dans les 4 à 6 jours précédant une épreuve afin de maximiser les effets bénéfiques potentiels de cette substance.[25]

En outre, il sera intéressant de vérifier la tolérance de chacun à la caféine lors de l'entraînement, dont la consommation n'est pas sans effets négatifs : effet diurétique, augmentation du risque de déshydratation avec crampes, coup de chaleur, etc.[25]A fortes doses et chez les sujets qui n'en consomment jamais, le risque est de subir une stimulation sympathomimétique excessive, ce qui expose le sujet à des nausées, vertiges, ou à une tachycardie. Dans tous les cas, il est conseillé de ne pas consommer plus de 5 mg/kg de caféine, soit 4 expresso pour un homme de 70 kg.[90]

De 1983 à 2003, la caféine était considérée comme produit dopant lorsque sa concentration dans l'urine dépassait 12 µg/ml, correspondant à un minimum de consommation de 4 à 7 tasses de café (600 à 800 mg) en 30 minutes.[25] En 2004, l'Agence Mondiale Antidopage (AMA) a retiré la caféine de la liste des produits interdits pour la classer dans la catégorie des produits sous surveillance.[91] Ceci signifie qu'elle peut être recherchée dans les contrôles pour vérifier l'usage abusif dans la perspective probable de sa réintroduction sur la liste des interdictions.

La caféine ou le guarana sont présents dans les boissons énergisantes (tableau 18) qui, à la différence des boissons de l'effort présentées dans le paragraphe 3.2.4, ne répondent pas aux critères spécifiques émis par les agences alimentaires européennes. En 2013, la Société Française de Nutrition du Sport rappelait que « ces boissons sont inadaptées et déconseillées pour la réhydratation en période d'efforts physiques, et ne doivent donc pas être consommées avant, pendant, ni après l'effort sportif ». Les médecins du sport à l'origine du rapport précisent que la prise de ce type de boissons chez le sportif « peut augmenter le risque de blessures », est un « facteur de risque de troubles du rythme cardiaque », et « fait courir le risque de troubles digestifs ». On retrouve également le guarana dans certains complexes vitaminés comme BeroccaBoost[®], Supradynboost[®], etc.

1.6.2. La taurine

La taurine est quant à elle un dérivé d'acide aminé soufré synthétisé par l'organisme à partir de la méthionine et de la cystéine. Elle est également apportée par les aliments et se retrouve principalement dans la viande, les fruits de mer, le lait et les œufs.

Les boissons en contenant ont longtemps été interdites en France à cause de suspicions d'effets indésirables neurocomportementaux. C'est depuis 2008, avec l'autorisation de la commercialisation de Red Bull[®], que l'utilisation de la taurine est finalement autorisée en France, puisqu'aucune nocivité n'a pu être prouvée.

La taurine semble présenter des capacités de neuromodulation sur les récepteurs GABA(A) et glycine au niveau cérébral, d'osmorégulation sur le calcium, d'interaction avec le métabolisme des lipides, et une activité anti-oxydante.[68] La taurine est aujourd'hui retrouvée dans de nombreux compléments alimentaires et elle entre dans la composition de boissons énergisantes qui permettraient, selon les laboratoires, d'améliorer les performances athlétiques (tableau 18).

Une étude publiée en 2013 a démontré qu'un apport élevé de taurine améliorerait la performance d'athlètes entraînés sur une course de 3 km. Comparé à la course sous placebo, 7 des 8 athlètes ont couru les 3 km plus rapidement après ingestion d'une forte dose de taurine 2 heures avant (1000 mg, équivalant à une canette de Red bull[®]), avec une diminution du temps de parcours de 1,7%.[92] Cependant, les autres études réalisées antérieurement n'ont constaté aucune amélioration de la performance de ce

genre. Elles ont montré qu'un apport important de taurine était éliminé très rapidement par voie urinaire, sans bénéfice pour la santé ou la performance.[93]

Le manque de données en ce qui concerne sa toxicité ne peut garantir son innocuité. Des troubles neurocomportementaux, tels qu'hyperactivité, troubles du comportement, effet locomoteur ont été rapportés suite l'ingestion de boissons énergisantes contenant de la taurine, mais aucun lien direct n'a pu être établi entre la taurine et une toxicité avérée.[93]

Tableau 18. Compléments alimentaires à base de caféine/taurine disponibles en pharmacie (liste non exhaustive).

| | Taurin Synergy + (STC nutrition®) | Taurin energy (Eatfit®) | Guarana shot (STC nutrition®) |
|------------------------------|--|--|--|
| Composition | Pour 3 gélules : Taurine (180 mg), L-Valine (300 mg), L-arginine (165 mg), Panax ginseng, Kola, Vitamines et minéraux | Pour 3 gélules : Taurine (500 mg), Caféine (100 mg), Calcium (400 mg), Chrome (25 µg) | Pour 1 flacon de 25 mL : Extrait de guarana (1500 mg) titré en caféine (100 mg), taurine (90 mg), vitamine C (80 mg), vitamine B1 (1,1 mg), vitamine B6 (1,4 mg). |
| Conseil d'utilisation | 3 gélules par jour, de préférence le matin ou le midi, 30 minutes avant le repas avec un verre d'eau. | 3 gélules par jour, à prendre avant le repas ou l'exercice physique. | 1 flacon unidose, le matin ou 1 heure avant l'effort. |
| Objectifs | Réduction de la fatigue et métabolisme protéique. | Augmentation de l'attention et diminution de la perception de la fatigue durant l'exercice augmentant ainsi les performances (caféine) et contribution au métabolisme énergétique (calcium). | Stimulant coup de fouet. |

1.7. Le coenzyme Q10

Encore appelé ubiquinone, c'est un composé présent dans toutes les cellules de l'organisme, et notamment en grande quantité dans le tissu myocardique.[9]

Il intervient dans la chaîne respiratoire mitochondriale, qui assure la production d'énergie : il est un intermédiaire qui a la capacité de passer de la forme oxydée et la forme réduite, et donc de transférer des électrons lors de la phosphorylation oxydative mitochondriale.[9]

Il est utilisé dans certaines maladies cardio-vasculaires pour son effet positif sur l'assimilation de l'oxygène chez des patients cardiaques. Ces bons résultats ont donné l'idée de tester ce produit aux propriétés supposées ergogènes auprès des sportifs.

Cependant, aucune étude à ce jour n'a pu mettre en évidence une amélioration des performances suite à la prise de Coenzyme Q10.[25][94] De plus, en présence d'oxygène, il peut fortement réagir pour donner naissance à des radicaux libres, ce qui semble toutefois contradictoire avec la large utilisation du coenzyme Q10 comme supplément oral antioxydant.[95] Sont commercialisées des spécialités telles que : Microbiane Q10 (Pileje[®]) ou CoQ10 (Solgar[®]) qui permettraient d'améliorer le travail du cœur (rythme, tension artérielle, capacité), et ainsi favoriser les performances sportives.

1.8. Les produits naturels

Pour satisfaire un plus large public, les laboratoires surfent sur l'idée d'une meilleure assimilation des « produits d'origine naturelle » par l'organisme. Il faut néanmoins rester prudent, d'une part parce qu'un produit s'octroie le droit de s'appeler « produit naturel » dès lors que 10 % de sa composition n'est pas d'origine synthétique, et d'autre part parce que des études récentes concluent que le corps humain ne fait par exemple pas de différence entre la vitamine C naturelle du kiwi et la synthétique en terme de concentration, de vitesse d'absorption et d'élimination. Certains de ces produits restent cependant une bonne alternative aux produits de synthèse car ils contiennent des micronutriments en quantité. Les essais pour mettre en évidence leur activité restent toutefois rares et les méthodologies divergent. Il faudra détecter les fausses allégations et savoir s'abstenir de les conseiller dans certains cas. Le tableau 19 rassemble les compléments naturels les plus couramment retrouvés dans la nutrition du sportif et leurs principales caractéristiques.

Tableau 19. Les compléments d'origine naturelle les plus communément retrouvés chez le sportif. (liste non exhaustive).[96][97][98]

| Plante- nom latin (partie utilisée) | Composition | Sports étudiés | Utilisation | Précautions d'emploi |
|--|---|--|--|---|
| Ginseng - <i>Panax ginseng</i> (Racine) | Vitamines B₁-B₂-B₃-B₅-B₆-B₉-B₁₂ & Ginsenosides (anabolisant général, stimulation des réflexes et de l'hématopoïèse aboutissant à une résistance à la fatigue). | Sports d'endurance (course à pied, vélo, test de nage chez l'animal) | <ul style="list-style-type: none"> Adaptogène (amélioration de l'adaptation au stress) Ergogène théorique (pas d'amélioration significative des performances) Effets controversés chez l'homme (↓ lactates, ↓ fréquence cardiaque, meilleure mobilisation des graisses ?) Effets antioxydants, diminution dommages oxydatifs induits par l'exercice chez l'animal) | <ul style="list-style-type: none"> Contre-indiqué : enfants < 18 ans, Grossesse et allaitement À éviter en cas de diabète, HTA, maladies cardiaques, insomnie, nervosité, cancer hormono-dépendant, traitement par IMAO, tamoxifène, antidiabétiques oraux, insuline, warfarine. Entraîne une légère baisse de la glycémie : attention au risque d'hypoglycémie préjudiciable à la performance. |
| Eleuthérocoque / Ginseng de Sibérie - <i>Eleutherococcus senticosus</i> (Racine) | (Assimilé au ginseng) | | | |
| Argousier - <i>Hippophae rhamnoides</i> (Baies) | Vitamine C (100 - 300 mg/100 g de baies), vitamine E, bêta-carotène et lycopène, 18 acides aminés, et 24 éléments différents (acides gras essentiels, phytostérols, phosphore, fer, manganèse, bore, calcium, etc). | Peu d'études | Boisson de l'effort et de récupération, notamment pour les sports d'endurance & adaptogène | Non connu |
| Spiruline <i>Spirulina maxima</i> (issue des boues du lac Texcoco au Mexique) / <i>S. platensis</i> (mares du Tchad) (Algue) | Protéines (55 à 70%), vitamines B₁, B₂ et B₁₂ (15 mg pour 100 g), acide alpha-linolénique (12,3-35,3 %) et acide gamma-linolénique (de 0-2,6 %). caroténoïdes variés (22 mg/5 g) : cryptoxanthine, lutéine, zéaxanthine et bêta-carotène (14 mg / 10 g) | Sports d'endurance (course à pied) | Antioxydant, améliore la fatigue musculaire, l'endurance, diminue les crampes, meilleure oxygénation musculaire, et action anabolisante, diminue l'hyperlipidémie et surtout l'hypertriglycéridémie chez les jeunes sportifs après un repas riche en graisse. | Diminuer et augmenter progressivement les doses (pour éviter les problèmes intestinaux), ne pas utiliser plus de 3 semaines d'affilée, faire des pauses. |
| Fénu grec <i>Trigonella foenum-graecum</i> (Graine) | Protéines (30 %), lipides (20 %) et glucides (10 %), saponines stéroïdiennes, antioxydants, vitamine A, B ₁ et C, fer, magnésium, calcium | Musculation, peu d'étude | Stimulation de l'appétit, possible stimulation de sécrétion de l'insuline et réduction des lipides sanguins | Contre indiqué : grossesse À éviter chez les diabétiques. |
| Rhodiola <i>Rhodiola rosea</i> (Rhizome et racines adventives) | <i>Rosavine</i> , rosarine, rosinerhodioliolide et antioxydants phénoliques | Sports d'endurance (course à pied, vélo, rameur, test de nage forcé chez l'animal) | Antioxydant, adaptogène, cardioprotecteur (normalise les battements cardiaques un effort physique) mais effets sur la performance controversés chez l'homme (Amélioration ventilation pulmonaire, ↓ lactates) Pris 1h avant l'effort : augmente la performance et amplifie la résistance à l'effort. Pas de différence significative si prise en cure de 30 jours avant l'événement sportif. | Contre indiqué : enfants < 18 ans, grossesse & allaitement Possible inhibition de la sérotonine et noradrénaline (à éviter avec les antidépresseurs). |
| Tribule terrestre <i>Tribulus terrestris</i> (fruit et feuille) | Stimulant et aphrodisiaque. Anabolisant ? Les quelques études ne montrent pas de différence significative sur l'augmentation du taux de testostérone chez des hommes sains non sportifs. | | | |
| Acerola <i>Malpighia emarginata</i> (Baie) | Vitamine C (1.000 à 4.500 mg/100 g), B ₁ , B ₆ et A, oligoéléments (Fe, Ca et phosphore) et caroténoïdes | Sport d'endurance (test sur tapis roulant et test de nage chez l'animal) | Antioxydant et réduction de la fatigue liée à l'exercice physique in vitro et chez l'animal | Contre-indiqué : Grossesse et allaitement, Calculs rénaux, crise de goutte À éviter en cas d'excès de fer, traitement par warfarine |
| Goji <i>Lycium barbarum</i> (Baie) | Polysaccharide (à 8 %), caroténoïdes (0,03 à 0,5 %) Vitamine C , B ₁ , B ₂ et B ₃ , oligoéléments (K, Ca, Zn, Fe, Co, Mn, Se, Mg) | | | |

2. Réglementation des compléments alimentaires

Jusqu'en 2002, la seule obligation était une demande d'autorisation par le fabricant auprès de la Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes (DGCCRF) pour valider les allégations et la composition scientifique du produit. En cas d'absence de réponse de la part de la DGCCRF dans les deux mois suivant la demande, la mise sur le marché de nouveaux produits se faisait automatiquement. De plus, si les composants existaient déjà sur le marché, aucune opposition à leur commercialisation n'était possible. Seul un contrôle *a posteriori* pouvait être effectué par la DGCCRF en cas de doute.[99] Face à l'explosion du marché des compléments alimentaires et l'engouement croissant des consommateurs, de nouveaux produits sont apparus sur le marché de manière désordonnée.

En 2002, l'Autorité Européenne de Sécurité des Aliments (AESA) ou European Food Safety Authority (EFSA) est créée pour se charger d'assister la Commission Européenne (CE) dans la réglementation des compléments alimentaires : elle analyse et accepte ou non leur mise sur le marché.

La directive 2002/46/CE est créée. Elle a pour objectif de réguler les pratiques concernant la composition, l'étiquetage, la qualité et la sécurité des compléments pour renforcer la protection des consommateurs avec une concurrence plus juste. Cependant, la législation autour de la composition qualitative et quantitative des actifs reste encore vague. Sont listés dans cette directive, 13 vitamines et 15 minéraux qui peuvent être utilisés pour la fabrication des compléments alimentaires en Europe, ainsi que leurs doses journalières maximales sur lesquelles les fabricants doivent se baser pour garantir que l'utilisation normale des produits est sans danger pour le consommateur. L'inclusion des substances vitaminiques et minérales sur cette liste ne peut se faire qu'après l'évaluation par l'EFSA d'un dossier scientifique concernant la sécurité et la biodisponibilité de chaque substance individuelle. Pour cela, l'EFSA mandate la CE qui se charge alors de fixer les critères de pureté de ces substances. [100] L'étiquetage des compléments alimentaires est également réglementé par cette directive : le complément alimentaire ne peut, entre autres, être présenté comme possédant des propriétés de prévention, de traitement ou de guérison vis-à-vis d'une pathologie, sans quoi il serait un médicament. Une transposition en droit français a été

faite par le décret n°2006-352 du 20 mars 2006, qui complète cette directive pour les modalités d'autorisation des autres nutriments ainsi que celles des plantes et préparations de plantes.

Pour renforcer ce cadre législatif, dans une optique de nutrivigilance, l'ANSES améliore la sécurité du consommateur en identifiant rapidement d'éventuels effets indésirables liés la consommation des compléments alimentaires, avec des missions d'expertise, de surveillance épidémiologique, d'alerte et de conseil scientifique et technique. Il est possible de déclarer tout effet indésirable sur le site de l'ANSES, mais seuls les professionnels de santé sont habilités à le faire.[101]

Toujours dans ce cadre réglementaire, une autre problématique peut être soulevée lorsqu'un sportif se rend à l'officine : qu'en est-il de la consommation de compléments alimentaire et du dopage ?

Chaque année, l'Agence Mondiale Antidopage (l'AMA), reprise par l'Agence Française de Lutte contre le Dopage, établit une liste claire des molécules dopantes et de leur interdiction d'utilisation soit en permanence, soit en compétition ou soit dans certains sports uniquement.[102]

Pour garantir la conformité de leurs produits au plan de prévention du dopage pilotée par le ministère des Sports, de la Jeunesse, de l'Education populaire et de la Vie associative, certains laboratoires ont désormais la possibilité d'inscrire sur l'emballage de leur gamme la conformité à la norme AFNOR NF 94-001 depuis le 14 juin 2012, ce qui garantit l'absence de substances interdites recensées par l'AMA au sein de leur produit. Cette mention permet ainsi de valoriser leurs bonnes pratiques auprès de leur clientèle.[103]

Toujours dans cette optique d'engagement dans la lutte contre le dopage, qui est d'ailleurs l'une des missions du pharmacien, une convention a été signée en 2015 entre l'Ordre des Pharmaciens et le ministère de la Ville, de la Jeunesse et des Sports. Celle-ci concerne plus particulièrement la prévention du dopage lié à l'usage de compléments alimentaires chez le sportif amateur ou professionnel.

En Février 2016, le Cespharm a alors lancé une grande campagne d'information et de sensibilisation sur ce thème au sein du réseau officinal en proposant sur leur site une

affiche d'information, une brochure destinée aux sportifs et un document d'information professionnelle.[104]

3. Enquête sur l'utilisation des compléments alimentaires en pharmacie

Face à une diversité croissante de produits destinés aux sportifs arrivant sur le marché et des moyens de communication de plus en plus rapides, il paraît légitime de faire un état des lieux sur la consommation réelle des différents types de compléments alimentaires corrélée à l'état des connaissances actuelles. Il semble également intéressant de prêter attention à la place actuelle qu'occupe le pharmacien dans le conseil et la vente de ces compléments alimentaires.

3.1. Méthodologie

Un questionnaire sous forme numérique, simple, rapide et anonyme a été diffusé sur internet pour toucher un large public. Il a été mis en forme grâce à Google Forms puis diffusé sur les pages/sites d'associations et clubs sportifs d'Amiens. Les participants avaient juste à cocher les réponses. En annexe 7 se trouvent les questions à choix multiples qui leur ont été posées. Les participants ne devaient référencer qu'un seul sport, reporté à la première question. Au final, 68 personnes ont complété ce questionnaire sur la période allant du 4 février au 12 avril 2017.

3.2. Résultats et discussion

Les tableaux et figures suivants rassemblent les résultats qui seront par la suite discutés. Les questions étaient à choix multiples, le nombre de réponses diffère donc en fonction de la question posée.

3.2.1. Caractéristiques démographiques

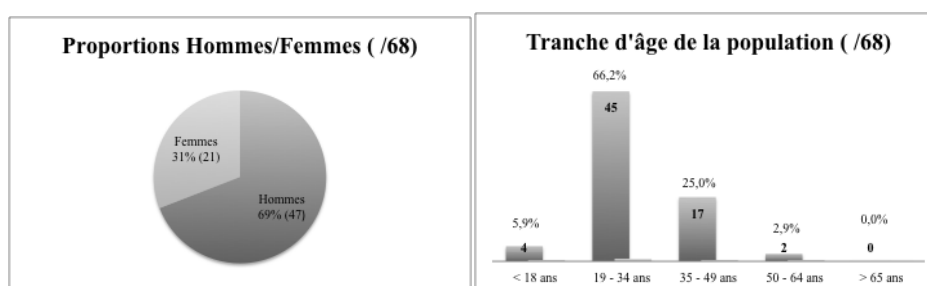


Figure 16. Caractéristiques démographiques de la population.

Comme le montre la figure 16, les participants sont pour 1/3 des femmes et 2/3 des hommes. Les 2/3 de l'effectif ont entre 19 et 34 ans et un peu moins d'un tiers entre 35 et 49 ans. Aucun des répondants n'a plus de 65 ans, fait peut être lié au mode de diffusion du questionnaire.

3.2.2. Caractéristiques des pratiques sportives

Tableau 20. Sports et conditions de pratique.

| Proposition | Nombre de réponses | Pourcentage |
|-----------------------|---------------------------|--------------------|
| <i>Sport pratiqué</i> | <i>68</i> | |
| Aikido | 1 | 1,5% |
| Athlétisme | 2 | 2,9% |
| Badminton | 1 | 1,5% |
| Basket-Ball | 2 | 2,9% |
| Course à pied | 7 | 10,3% |
| Crossfit | 3 | 4,4% |
| Cyclisme | 6 | 8,8% |
| Danse | 5 | 7,4% |
| Duathlon | 1 | 1,5% |
| Equitation | 1 | 1,5% |
| Fitness | 3 | 4,4% |
| Football américain | 3 | 4,4% |
| Golf | 1 | 1,5% |
| Handball | 1 | 1,5% |
| Hockey | 2 | 2,9% |
| Musculation | 20 | 29,4% |
| Natation | 3 | 4,4% |
| Natation Synchronisé | 1 | 1,5% |
| Rugby | 1 | 1,5% |
| Squash | 1 | 1,5% |
| Triathlon | 3 | 4,4% |

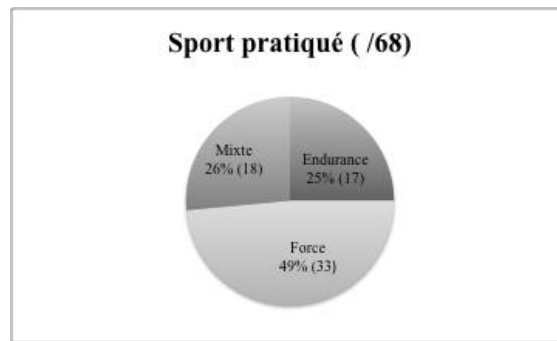


Figure 17. Catégories des sports pratiqués.

La figure 17 montre que près de la moitié des personnes interrogées pratiquent des sports de force, avec l'exercice de la musculation majoritairement (tableau 20), le reste se partageant équitablement entre sports d'endurance et mixtes. Ceci peut notamment s'expliquer par le fait que le questionnaire ait été principalement diffusé sur les sites de Clubs de musculation d'Amiens. Il faudra tenir compte de la prépondérance des sports de forces pour l'interprétation des résultats suivants.

Tableau 21. Conditions de pratique du sport.

| Conditions de pratique | 72 | |
|------------------------|----|-------|
| Sans entraîneur | 42 | 58,3% |
| Avec entraîneur | 30 | 41,7% |

Concernant le mode d'entraînement (tableau 21), un peu plus de la moitié des participants pratiquent leur sport sans l'aide d'un entraîneur, ce qui signifie que, s'ils ne se renseignent par eux-mêmes sur l'importance d'une nutrition adaptée à l'exercice, les pratiquants sont plus facilement à risque de carence.

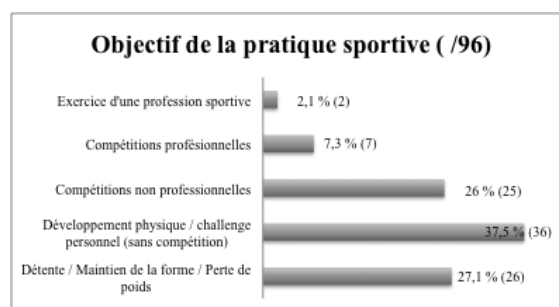


Figure 18. Objectif principal de la pratique sportive.

En outre, 90,6 % l'effectif pratique son activité physique de manière non professionnelle, dans un but détente (27,1 %), de développement physique (37,5 %) ou de compétition non professionnelle (26 %), comme nous le montre la figure 18. Nos participants ont donc peu de chance d'être orientés sur leur pratique sportive s'ils ne font pas de recherche de leur côté. Le premier rôle du conseil officinal prodigué au sportif sera donc du domaine préventif et informatif avec une communication à établir avec un large public. Nous verrons néanmoins plus loin que la principale source d'information reste internet, devant l'entourage, le personnel de salle de sport ou le médecin ; le pharmacien arrivant loin derrière devra ainsi faire sa place.

3.2.3. Caractéristiques de la consommation des compléments alimentaires

Tableau 22. Notoriété des compléments alimentaires pour sportif en officine.

| <i>Connaissance de la possibilité de se procurer des compléments alimentaires pour sportifs en pharmacie</i> | <i>68</i> | |
|--|-----------|-------|
| Oui | 61 | 89,7% |
| Non | 7 | 10,3% |

Plus de 89 % de notre population avait connaissance de la possibilité de se procurer des compléments alimentaires en pharmacie (tableau 22), avec, comme nous le montre la figure 19, une consommation globale de ces compléments de 85,3 % (36,8 % quotidiennement, 38,2 % occasionnellement et 10,3 % à l'approche des compétitions). Pourtant, nous le verrons plus loin, seuls 28,1 % des participants se sont orientés vers l'officine pour se les procurer.

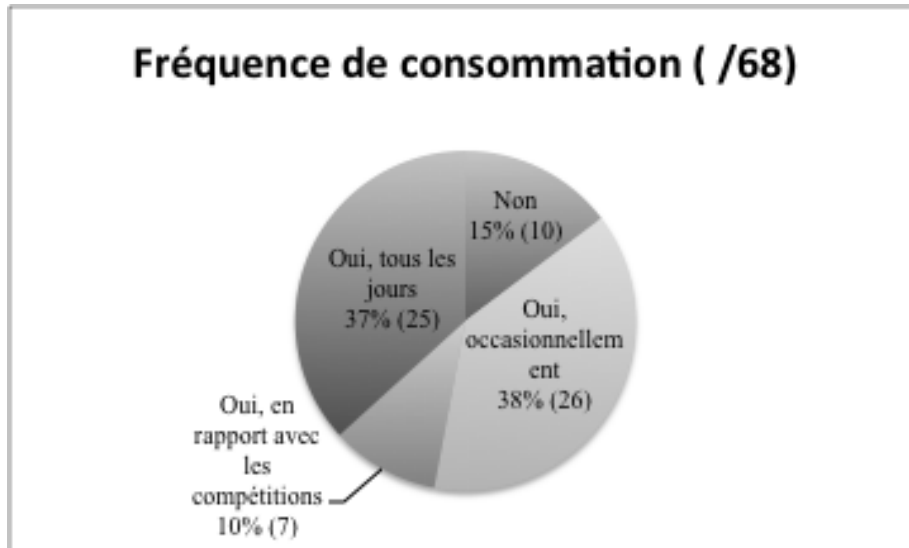


Figure 19. Fréquence de consommation des compléments alimentaires.

Il semble important que le pharmacien accentue et personifie son conseil à chacun des sportifs pour que ces compléments soient consommés dans un but précis sans qu'ils deviennent des « produits marketing ». Ceci permettrait à l'officine de sortir son épingle du jeu en limitant le réflexe de consommer sur internet (32,3 % des achats).

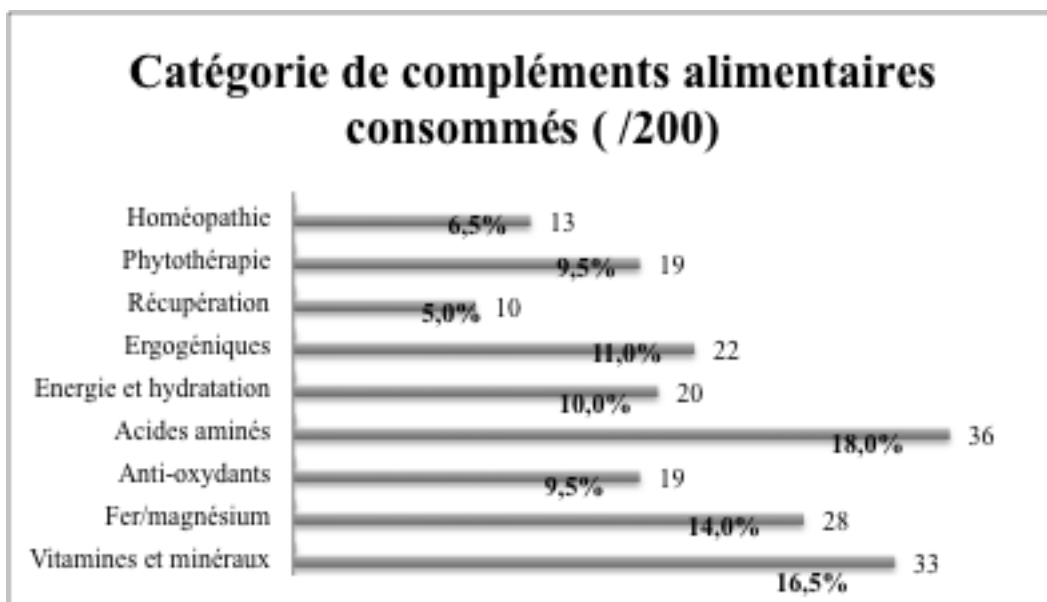


Figure 20. Catégorie de compléments alimentaire consommés.

La figure 20 met en avant le fait que les principaux compléments consommés soient les vitamines, minéraux, le fer et le magnésium devant les acides aminés. Viennent ensuite les ergogéniques, les produits énergétiques et d'hydratation, et les antioxydants. Il est dommage de voir que la consommation de ces trois dernières catégories ne soit pas plus élevée, car, comme nous l'avons vu précédemment, elles se trouvent être les plus intéressantes pour compléter le sportif dans un objectif de maintien de sa santé. Il semble enfin que la phytothérapie soit plus connue que l'homéopathie, cette dernière pouvant pourtant revendiquer une totale absence d'effet dopant.

L'un des messages que le pharmacien se devra de faire passer sera d'insister sur le stress oxydatif et l'importance d'en limiter les effets. Il faudra également que le sportif face le point sur ses pratiques quotidiennes de nutrition et d'hydratation en période d'entraînement et de compétition pour les optimiser avant d'envisager la prise de compléments alimentaires.

Le tableau 23 nous permet de constater que le principal objectif de la consommation de compléments alimentaires pour les répondants de l'enquête est une amélioration de la récupération pour plus de la moitié d'entre eux, si l'on reprend l'effectif initial (50 réponses positives sur 68 participants, soit 73,5% de l'effectif). Ils sont encore plus nombreux à rapporter ressentir cet effet ($53/68 = 77,9\%$).

L'amélioration des performances vient en deuxième position avec un effet constaté chez « seulement » 32,3 % des sujets alors que près de 53% en consomment dans cet objectif ($p < 0,02$, test de différence entre deux proportions observée).[105] L'efficacité des compléments alimentaires apparaît donc limitée sur ce point, retranscrivant dans la pratique quotidienne les résultats souvent discordants rapportés dans les études décrites précédemment sur le potentiel ergogénique des différentes molécules pouvant être retrouvées dans ces compléments.

Le comblement d'une carence apparaît en 3^e et dernière position (Tableau 23). La méthodologie de notre enquête ne nous permet malheureusement pas de savoir s'il s'agit de carences réelles, objectivées par des signes cliniques et/ou dosages plasmatiques, ou supposées.

Tableau 23. Objectifs et effets de la consommation des compléments alimentaire.

| <i>But de la consommation</i> | <i>109</i> | |
|---|------------|-------|
| Amélioration des performances | 36 | 33,0% |
| Amélioration de la récupération | 50 | 45,9% |
| Carence alimentaire | 23 | 21,1% |
| <i>Changement ressentis après leur consommation</i> | <i>79</i> | |
| Meilleures performances | 22 | 27,8% |
| Meilleure récupération | 53 | 67,1% |
| Aucun changement | 4 | 5,1% |

Le tableau 24 présente les occurrences de chaque type de complément alimentaire en fonction de l'effet recherché et de celui observé par les pratiquants et nous aide à apprécier plus en détails les différences évoquées de façon globale à l'examen du tableau 23. Pour l'analyse de ces résultats, il faut garder à l'esprit que les réponses au questionnaire étaient à choix multiples, et qu'elles restent subjectives.

Les cases grisées correspondent à l'effet attendu suite à la consommation du complément en question, tel que discuté dans les parties précédentes. Concernant la recherche de performance et de meilleure récupération, ces résultats seront comparés aux effets ressentis lors de la consommation du complément alimentaire visé. Aucune relation n'a pu être établie entre la carence alimentaire et les effets ressentis après la prise d'un complément alimentaire dans cette optique, puisque pour interpréter cette corrélation, il aurait fallu faire un bilan sanguin pour constater si la carence avait effectivement été comblée grâce à la complémentation.

Tableau 24. Objectifs et effets de la consommation de compléments alimentaires par catégorie

| Effet Complément alimentaire consommé | Performance | | Récupération | | Carence alimentaire |
|--|---------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------|
| | Recherché | Constaté | Recherché | Constaté | Recherché |
| Vitamines et minéraux n = 33 | 60,6 % (20) ^{a*} | 36,4 % (12)* | 84,8 % (28) | 90,9 % (30) | 51,5 % (17) |
| Fer/ Magnésium n = 28 | 57,1 % (16)* | 92,8 % (26)* | 89,3 % (25) | 92,8 % (26) | 50 % (14) |
| Anti-oxydants n = 19 | 63,2 % (12) | 42,1 % (8) | 94,7 % (18) | 89,5 % (17) | 47,4 % (9) |
| Acides-aminés n = 36 | 66,7 % (24) | 50 % (18) | 86,1 % (31) | 83,3 % (30) | 41,7 % (15) |
| Energie et hydratation n = 20 | 70% (14)* | 35 % (7)* | 85 % (17) | 90 % (18) | 45 % (9) |
| Ergogéniques n = 22 | 72,7 % (16) | 54,5 % (12) | 77,3 % (17) | 86,4 % (19) | 40,9 % (9) |
| Récupération n = 10 | 60 % (6) | 60 % (6) | 80 % (8) | 90 % (9) | 30 % (3) |

^a: les résultats sont exprimés en pourcentage du nombre n de sujets (effectif indiqué dans la 1^e colonne) ayant consommé le type de complément alimentaire suivi de l'effectif correspondant entre parenthèses.

*: $p < 0,05$ (test bilatéral de comparaison de deux proportions observées) [105]

Même si d'un point de vue physiologique il ne s'agit pas de leur action attendue, les vitamines, les minéraux, le fer et le magnésium sont principalement consommés dans un but d'amélioration de la récupération (84,8 %) et les sportifs le ressentent comme tel (90,9 %). Etant donné qu'une supplémentation vitaminique n'est à conseiller principalement que lorsque le sportif est carencé, et comme ce questionnaire nous indique qu'il s'agit d'un des premiers types de complément consommé par cette population (33 utilisateurs/68, soit 48,5%), la notoriété de ces produits semble être déjà bien installée et le pharmacien devra plutôt accentuer son conseil sur les possibles carences liées à la pratique sportive, notamment sur le risque d'anémie qui se ressent comme une fatigue accrue. Il sera possible également de rappeler aux

sportifs de faire des bilans sanguins complets périodiquement pour faire un état des lieux sur leurs potentielles carences alimentaires.

A côté de cela, il faudra accentuer le conseil sur la prise d'antioxydants (seulement 19 utilisateurs sur 68, soit 28% des participants), qui se trouvent être des compléments utiles, nous l'avons vu, pour lutter contre les ravages du stress oxydatif et améliorer la récupération, but premier de nos consommateurs de compléments alimentaires.

Les acides aminés semblent être de bons agents de récupération, plutôt que de performance (89,5 % des consommateurs ont ressenti une meilleure récupération contre 42,1 % pour une meilleure performance). Le pharmacien orientera ainsi les pratiquants de sport de force en évitant les fausses allégations quant à l'action des acides aminés sur une éventuelle amélioration des performances, puisque les résultats des études restent contrastés sur ce sujet.

Il semble qu'il y ait un travail important de communication à faire sur l'importance de l'hydratation et de l'optimisation de la nutrition puisque seuls 10 % des participants adoptent cette méthode pour une optimisation de leur effort. Peut être est-ce lié au fait que cette importance est surtout soulignée pour les sports d'endurance, alors que notre questionnaire, rappelons-le, a été principalement complété par des sportifs de force.

La prise des compléments destinés à la récupération semble cohérente avec les effets bénéfiques ressentis par la population en consommant, puisque les résultats attendus et ressentis sont très proches, tous compléments alimentaires confondus. L'important pour le pharmacien sera de développer la vente de ces produits (5 % des achats).

Enfin, il est important de noter que seuls 54,5 % des consommateurs d'aides ergogéniques ont ressenti un effet sur leur performance, le tout sera de rester prudent sur les effets que peuvent produire ces produits sur l'organisme, étant donné les études qui restent controversées à ce sujet.

3.2.4. Caractéristiques des achats de compléments alimentaires

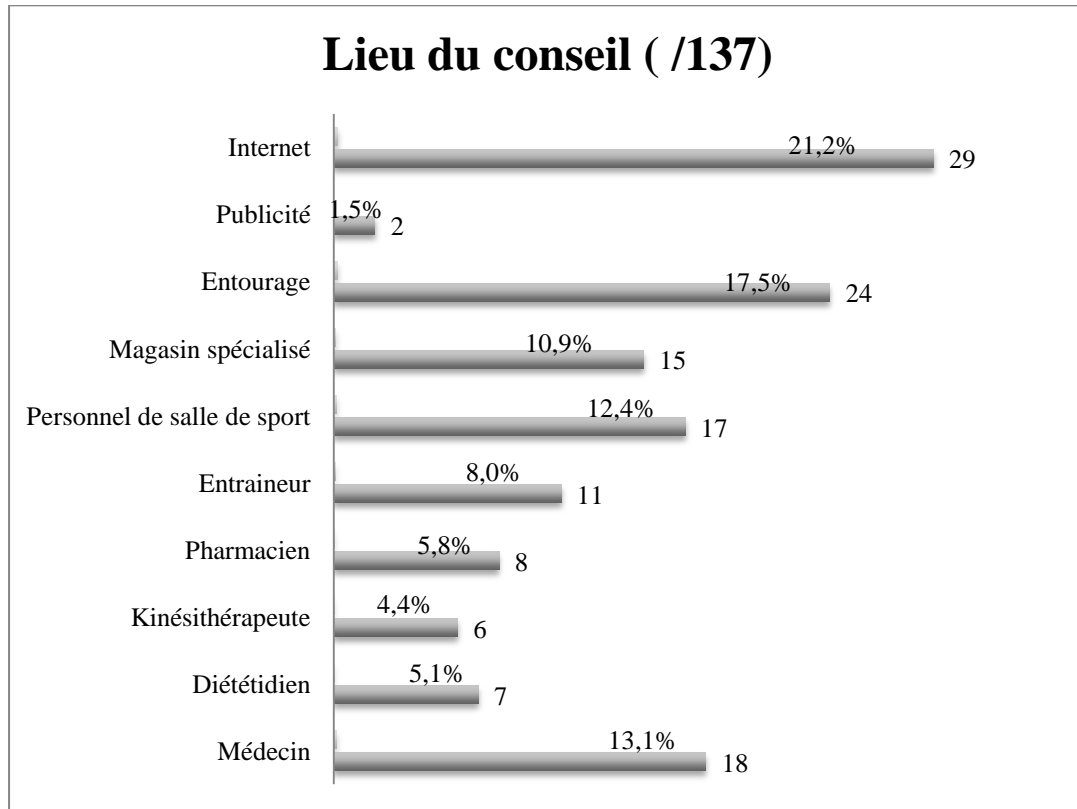


Figure 21. Lieu du conseil.

Les sources de conseil sur la consommation des compléments alimentaires sont largement dominées par internet (29/68 participants, soit 42,6%) et par les informations données par le médecin et l'entourage (Figure 21). Le pharmacien n'apparaît qu'en antépénultième position, signe que le recours à ce professionnel de santé dans le cadre de leur pratique sportive n'est pas un réflexe pour les participants de notre enquête. Afin de contribuer à une utilisation optimale en termes de cohérence de sécurité d'emploi, les pharmaciens se doivent donc de mettre en avant leurs connaissances physiologiques et réglementaires pour mieux orienter les sportifs confirmés ou amateurs se présentant à l'officine.

Le tableau 25 nous montre que les achats des compléments alimentaires s'effectuent dans un premier temps sur internet, ce qui paraît logique vu la source d'informations principale de nos sujets. Les pharmacies apparaissent en 2^e position, suivies par les magasins spécialisés puis ceux non spécialisés de type supermarché et enfin les salles

de sport. La principale concurrence de la vente en pharmacie est donc celle qui s'effectue sur internet. Cette pratique est préoccupante car le risque de consommation de produits frauduleux et/ou contenant des substances dopantes est beaucoup plus important suite à un achat dans ce circuit, beaucoup moins contrôlé que celui des pharmacies en France, comme le souligne l'ANSES dans son récent rapport d'experts. [106] Il aurait été intéressant de connaître la typologie des sites sur lesquels ces achats ont été finalisés par nos participants afin de mieux évaluer le risque de consommation de produits falsifiés ou de mauvaise qualité.

Le tableau 25 présente les occurrences des différents endroits d'achats des compléments alimentaires en fonction de la personne qui a prodigué le conseil (tableau 21). Pour l'analyse de ces résultats, il faut garder à l'esprit que les réponses du questionnaire étaient à choix multiples.

Tableau 25. Lieux d'achats et de conseil

| | Pharmacie | Salle de sport | Magasin spé | Magasin non spé | Internet |
|--|--------------|----------------|--------------|-----------------|-------------|
| Total (/96) | 28,1 % (27) | 6,3 % (6) | 21,9 % (21) | 11,5 % (11) | 32,3 % (31) |
| Conseiller(/137) | | | | | |
| Médecin n = 18 | 61,1 % (11) | 5,6 % (1)* | 44,4 % (8) | 0 | 33,3 % (6)* |
| Diététicien n = 7 | 57,1 % (4) | 14,3 % (1) | 57,1 % (4) | 0 | 42,9 % (3) |
| Kinésithérapeute n = 6 | 50 % (3) | 16,7 % (1) | 66,7 % (4) | 0 | 33,3 % (2) |
| Pharmacien n = 8 | 75 % (6) | 12,5 % (1) | 50 % (4) | 0 | 37,5 % (3) |
| Entraîneur n = 11 | 54,5 % (6) | 54,5 % (6) | 90,9 % (10) | 0 | 45,5 % (5) |
| Personnel de salle de sport n = 17 | 35,3 % (6) | 35,3 % (6)* | 58,8 % (10) | 0 | 76,5 % (13) |
| Magasin spécialisé n = 15 | 20 % (3) | 20 % (3)* | 66,7 % (10) | 0 | 53,3 % (8) |
| Entourage n = 24 | 45,8 % (11) | 12,5 % (3)* | 33,3 % (8)* | 8,3 % (2) | 70,8 % (17) |
| Publicité n = 2 | 50 % (1) | 0 | 0 | 50 % (1) | 0 |
| Internet n = 29 | 37,9 % (11)* | 10,3 % (3)* | 31,03 % (9)* | 27,6 % (8) | 75,9 % (22) |

* : $p < 0,05$ (test de McNemar) [105]

Les personnes qui achètent en pharmacie ont principalement eu un conseil du pharmacien lui-même ou du médecin. L'analyse statistique nous montre que les personnes qui se sont renseignées sur internet ont significativement moins acheté en pharmacie que celles s'étant renseignées directement chez le pharmacien. Les personnes qui se renseignent sur internet achètent principalement sur la toile, puis dans un second temps, à la pharmacie. Une fraction de cette population ne finalise

donc peut être pas ses achats en ligne et recherche plutôt un gage de qualité quant à la fabrication des compléments en achetant en pharmacie. En ce sens, développer une gamme de compléments alimentaires de qualité à l'officine, avec par exemple le logo assurant la conformité à la norme anti-dopage, semble être une piste pour amener les sportifs vers les officines afin qu'ils bénéficient de produits présentant le moins de risque possible.

Enfin, le fait que 75 % des personnes ayant reçu un conseil de la part d'un pharmacien aient acheté en pharmacie est plutôt positif, mais ces influences ne représentent que 5,8 % de la totalité des conseils alors que l'officine semble être le deuxième point de vente des compléments alimentaires (28,1 % juste après internet 32,3 %). C'est en cela que si l'on ne veut pas que le marché échappe aux pharmaciens, il faut absolument accentuer non seulement le conseil, mais également sa médiatisation.

Conclusion

Un entraînement physique optimisé génère des adaptations aux niveaux métabolique, structural et fonctionnel qui se traduisent par une optimisation des performances ; ce processus adaptatif est alors lui-même influencé par la consommation d'aliments, ou plutôt des nutriments (glucides, lipides, protéines, vitamines, minéraux, oligoéléments, eau) qu'ils contiennent. L'alimentation doit être adaptée au type de sport pratiqué et considérée avec attention, au même titre que l'entraînement, lors de la planification d'un objectif compétitif donné.

Le maintien de l'équilibre de la balance énergétique, une alimentation riche et diversifiée en vitamines et minéraux, une hydratation suffisante, ainsi qu'une bonne récupération sont primordiaux pour améliorer la performance. Dans ce cadre, les fiches conseils proposées en annexes 1 à 6 pourront servir de base de discussion au pharmacien, tout en adaptant son conseil au profil sportif et à l'activité qu'il pratique.

L'utilisation de compléments alimentaires dans le but d'améliorer la disponibilité en énergie (boissons, hydrates de carbone, L-carnitine, caféine, etc.) ou de favoriser la récupération (BCAA, protéines, hydrates de carbone, etc.) peut fournir un avantage supplémentaire dans certains cas. Cependant, peu d'études ont montré une amélioration de la performance suite à la prise de compléments alimentaires, qu'il s'agisse de vitamines, minéraux ou oligo-éléments, sauf chez les sportifs à risque de carences ou en cas de carences avérées. Les antioxydants ne semblent pas non plus apporter de bénéfices concernant la performance ; ils permettent en revanche de protéger l'organisme des radicaux libres et préservent la santé.

Même si les compléments alimentaires ne semblent pas indispensables aux sportifs ayant une alimentation riche et équilibrée, ces derniers en sont des consommateurs réguliers avec en premier lieu, une supplémentation en vitamines et minéraux ou en acides aminés qui est recherchée. Leurs objectifs et attentes vis-à-vis de cette consommation varient, mais la volonté de lutter contre la fatigue et d'améliorer la récupération semble primer sur celle d'améliorer la performance.

Il est important de garder néanmoins à l'esprit que les compléments alimentaires ne sont pas anodins. L'ANSES a en effet publié le 20 décembre 2016, une alerte sur l'utilisation des compléments alimentaires pour sportifs, notamment sur ceux visant à

augmenter ou à favoriser la perte de masse grasse, faisant suite à un recueil de 49 cas d'effets indésirables de type cardiovasculaires (tachycardie, arythmie et accident vasculaire cérébral) ou psychiques (anxiété et troubles de l'humeur). Il est justifié et pertinent que le pharmacien, en plus de son rôle de conseil sur l'utilisation de ces produits, alerte sur les risques liés à la consommation inadaptée de compléments alimentaires et de produits diététiques pour sportifs, en particulier lorsque ces derniers sont achetés sur internet en dehors du cadre réglementaire ou échangés de manière douteuse dans les vestiaires. Plusieurs études ont ainsi d'ailleurs mis en évidence depuis plusieurs années, des risques de contrôles positifs aux tests antidopage[107]ou pour la santé [108]. Une possibilité de traçabilité du produit et la présence du logo « anti-dopage » répondant à la norme AFNOR semblent être d'importants prérequis garantissant la qualité de complément consommé.

Il faut garder à l'esprit que les risques les plus importants concernent avant tous les produits à visée musculaire ou minceur, achetés sur internet sur des sites ne pouvant préciser l'origine du produit. L'important pour le pharmacien sera alors de développer une gamme respectant des normes de qualité pour ne pour ne pas perdre en crédibilité tout en prodiguant un conseil de adapté.

La réglementation française est aujourd'hui faite pour que les produits conseillés et utilisés avec l'accompagnement d'un professionnel de santé, achetés dans des circuits de distribution sérieux, contrôlés, puissent tout à fait trouver leur place dans le cadre de l'optimisation naturelle des performances et surtout, de la préservation de la santé du sportif ; et c'est en cela que le pharmacien trouve une place légitime dans le conseil nutritionnel prodigué aux sportifs.

Bibliographie

- [1] K. J. Ellis, « Human Body Composition: In Vivo Methods », *Physiol. Rev.*, vol. 80, n° 2, p. 649-680, janv. 2000.
- [2] McArdle W., K. F., et K. V., *Physiologie de l'activité physique - Energie, nutrition et performance*, 4e édition. Maloine/Edisem, 2001.
- [3] J. Brožek, « Body composition: Models and estimation equations », *Am. J. Phys. Anthropol.*, vol. 24, n° 2, p. 239-246, mars 1966.
- [4] A. Coin *et al.*, « Fat-free mass and fat mass reference values by dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA) in a 20–80 year-old Italian population », *Clin. Nutr.*, vol. 27, n° 1, p. 87-94, févr. 2008.
- [5] Maton Frédéric, « Méthode de mesure des plis cutanés chez le sportif », *Médecine Sport - IRBMS*, 2008.
- [6] D. Jones, Joan Round, et A. De Haan, *Physiologie du muscle squelettique - De la structure au mouvement*, Elsevier. Elsevier SAS., 2004.
- [7] Jacques R. Poortmans et Nathalie Boisseau, *Biochimie des activités physiques et sportives*, De Boeck université. De Boeck & Larcier s.a., 2009.
- [8] S. Silbernagl et A. Despopoulos, *Color Atlas of physiology*, Thieme., vol. 6. Thieme, 2009.
- [9] D. Reiss et Pascal Prévost, *La bible de la préparation physique*, Amphora. Amphora, 2013.
- [10] N. Boisseau, *Nutrition et bioénergétique du sportif - Bases fondamentales*. Masson, 2005.
- [11] P. Pilardeau, *Biochimie et nutrition des activités physique et sportives*, vol. 1- Le métabolisme énergétique. Masson, 1995.
- [12] Catherine Demailly, « La nutrition du sportif. Cours universitaire à la faculté de pharmacie d'Amiens. » 2015.
- [13] R. J. Shephard, « A nomogram to calculate the oxygen-cost of running at slow speeds », *J. Sports Med. Phys. Fitness*, vol. 9, n° 1, p. 10-16, mars 1969.
- [14] R. L. Gellish, B. R. Goslin, R. E. Olson, A. McDonald, G. D. Russi, et V. K. Moudgil, « Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heart rate », *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 39, n° 5, p. 822-829, mai 2007.

- [15] POTIER de COURCY G., FRELUT ML., et FRICKER J., *Besoins nutritionnels et apports conseillés pour la satisfaction de ces besoins.*, vol. Encyclopédie médico-chirurgicale, Endocrinologie-Nutrition. .
- [16] « Dispositif national de nutrivigilance | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/content/dispositif-national-de-nutrivigilance>.
- [17] *Décret n° 2014-1489 du 11 décembre 2014 modifiant le code de la consommation en ce qui concerne notamment l'information des consommateurs sur les denrées alimentaires.* 2014.
- [18] X. BIGARD et Y. GUEZENNEC, *Nutrition Du Sportif.*, 2ème édition. Paris : Masson, 2007.
- [19] RICHE D., *Equilibre alimentaire et sports d'endurance.*, Paris : Vigot. 1990.
- [20] M. E. Houston, D. A. Marrin, H. J. Green, et J. A. Thomson, « The Effect of Rapid Weight Loss on Physiological Functions in Wrestlers », *Phys. Sportsmed.*, vol. 9, n° 11, p. 73-78, nov. 1981.
- [21] M. A. Tarnopolsky *et al.*, « Effects of rapid weight loss and wrestling on muscle glycogen concentration », *Clin. J. Sport Med. Off. J. Can. Acad. Sport Med.*, vol. 6, n° 2, p. 78-84, avr. 1996.
- [22] K. D. Brownell, S. N. Steen, et J. H. Wilmore, « Weight regulation practices in athletes: analysis of metabolic and health effects », *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 19, n° 6, p. 546-556, déc. 1987.
- [23] C. Thoulon-Page, *Pratique diététique courante*, 5e édition. Masson, 1997.
- [24] E. BRUNET-GUEDJE, B. MOYEN, et J. GENETY, *Médecine du sport.*, 6e édition. Paris: Masson, 2000.
- [25] W. McArdle, K. F., et Victor L Katch, *Nutrition et performances sportives.*, 1e édition. Bruxelles: De boeck, 2004.
- [26] « Tableau indices glycémiques aliments - indices-glycémiques.pdf ». .
- [27] Kennedy W. Larry, Wilmore Jack H., et Costill David L., *Physiologie du sport et de l'exercice*, 5e édition. De Boeck, 2013.
- [28] A. E. Jeukendrup, « Nutrition for endurance sports: Marathon, triathlon, and road cycling », *J. Sports Sci.*, vol. 29, n° sup1, p. S91-S99, janv. 2011.
- [29] J. Venesson, *Paléo nutrition*, Broché. 2014.

- [30] S. Bilborough et N. Mann, « A review of issues of dietary protein intake in humans », *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*, vol. 16, n° 2, p. 129-152, avr. 2006.
- [31] G. Biolo, S. P. Maggi, B. D. Williams, K. D. Tipton, et R. R. Wolfe, « Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport after resistance exercise in humans », *Am. J. Physiol. - Endocrinol. Metab.*, vol. 268, n° 3, p. E514-E520, mars 1995.
- [32] K. D. Tipton, A. A. Ferrando, S. M. Phillips, D. Doyle, et R. R. Wolfe, « Postexercise net protein synthesis in human muscle from orally administered amino acids », *Am. J. Physiol.*, vol. 276, n° 4 Pt 1, p. E628-634, avr. 1999.
- [33] W. R. Frontera, C. N. Meredith, K. P. O'Reilly, H. G. Knuttgen, et W. J. Evans, « Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function », *J. Appl. Physiol. Bethesda Md 1985*, vol. 64, n° 3, p. 1038-1044, mars 1988.
- [34] M. A. Tarnopolsky, J. D. MacDougall, et S. A. Atkinson, « Influence of protein intake and training status on nitrogen balance and lean body mass », *J. Appl. Physiol. Bethesda Md 1985*, vol. 64, n° 1, p. 187-193, janv. 1988.
- [35] M. A. Tarnopolsky, S. A. Atkinson, J. D. MacDougall, A. Chesley, S. Phillips, et H. P. Schwarcz, « Evaluation of protein requirements for trained strength athletes », *J. Appl. Physiol. Bethesda Md 1985*, vol. 73, n° 5, p. 1986-1995, nov. 1992.
- [36] P. W. R. Lemon, « Dietary protein requirements in athletes », *J. Nutr. Biochem.*, vol. 8, n° 2, p. 52-60, févr. 1997.
- [37] J. Ferret et H. Koleckar, *Médecine Du Sport: Prévention, Traitement, Homéopathie et Nutrition*. Boiron.
- [38] E. J. van der Beek, « Vitamin supplementation and physical exercise performance », *J. Sports Sci.*, vol. 9 Spec No, p. 77-90, 1991.
- [39] H. M. Alessio et A. H. Goldfarb, « Lipid peroxidation and scavenger enzymes during exercise: adaptive response to training », *J. Appl. Physiol. Bethesda Md 1985*, vol. 64, n° 4, p. 1333-1336, avr. 1988.
- [40] R. B. Kreider *et al.*, « ISSN exercise & sport nutrition review: research & recommendations », *J. Int. Soc. Sports Nutr.*, vol. 7, p. 7, févr. 2010.
- [41] Haut comité de la santé publique, *Pour une politique nutritionnelle de santé publique en France. Chapitre 2*. Paris: ENSP, 2000.

- [42] E. D. B. Goulet, « Dehydration and endurance performance in competitive athletes », *Nutr. Rev.*, vol. 70 Suppl 2, p. S132-136, nov. 2012.
- [43] CARPENTIER JP et SABY R, « Coup de chaleur du sportif », *Urgence Prat.*, n° 80, 20017.
- [44] « UN PLAN D'EAU POUR LES SPORTIFS – Sport, santé et forme avec le sport ». .
- [45] E. A. Newsholme et E. Blomstrand, « Branched-Chain Amino Acids and Central Fatigue », *J. Nutr.*, vol. 136, n° 1, p. 274S-276S, janv. 2006.
- [46] G. van Hall, J. S. Raaymakers, W. H. Saris, et A. J. Wagenmakers, « Ingestion of branched-chain amino acids and tryptophan during sustained exercise in man: failure to affect performance. », *J. Physiol.*, vol. 486, n° Pt 3, p. 789- 794, août 1995.
- [47] M. Negro, S. Giardina, B. Marzani, et F. Marzatico, « Branched-chain amino acid supplementation does not enhance athletic performance but affects muscle recovery and the immune system », *J. Sports Med. Phys. Fitness*, vol. 48, n° 3, p. 347- 351, sept. 2008.
- [48] R. Elango, B. Rasmussen, et K. Madden, « Safety and Tolerability of Leucine Supplementation in Elderly Men », *J. Nutr.*, vol. 146, n° 12, p. 2630S-2634S, déc. 2016.
- [49] J.-P. Farriaux, *Le Cycle de l'urée et ses anomalies*. Doin, 1978.
- [50] T. Hayashi *et al.*, « l-citrulline and l-arginine supplementation retards the progression of high-cholesterol-diet-induced atherosclerosis in rabbits », *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 102, n° 38, p. 13681-13686, sept. 2005.
- [51] B. R. Stevens, M. D. Godfrey, T. W. Kaminski, et R. W. Braith, « High-intensity dynamic human muscle performance enhanced by a metabolic intervention », *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 32, n° 12, p. 2102-2108, déc. 2000.
- [52] B. N. Buford et A. J. Koch, « Glycine-arginine-alpha-ketoisocaproic acid improves performance of repeated cycling sprints », *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 36, n° 4, p. 583-587, avr. 2004.
- [53] S. J. Bailey *et al.*, « Acute L-arginine supplementation reduces the O2 cost of moderate-intensity exercise and enhances high-intensity exercise tolerance », *J. Appl. Physiol. Bethesda Md* 1985, vol. 109, n° 5, p. 1394-1403, nov. 2010.

- [54] J. P. Lekakis *et al.*, « Oral L-arginine improves endothelial dysfunction in patients with essential hypertension », *Int. J. Cardiol.*, vol. 86, n° 2-3, p. 317-323, déc. 2002.
- [55] T.-H. Liu, C.-L. Wu, C.-W. Chiang, Y.-W. Lo, H.-F. Tseng, et C.-K. Chang, « No effect of short-term arginine supplementation on nitric oxide production, metabolism and performance in intermittent exercise in athletes », *J. Nutr. Biochem.*, vol. 20, n° 6, p. 462-468, juin 2009.
- [56] G. K. McConell, N. N. Huynh, R. S. Lee-Young, B. J. Canny, et G. D. Wadley, « L-Arginine infusion increases glucose clearance during prolonged exercise in humans », *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, vol. 290, n° 1, p. E60-E66, janv. 2006.
- [57] N. Pahlavani *et al.*, « The effect of l-arginine supplementation on body composition and performance in male athletes: a double-blinded randomized clinical trial », *Eur. J. Clin. Nutr.*, janv. 2017.
- [58] R. Bescós *et al.*, « Effects of dietary L-arginine intake on cardiorespiratory and metabolic adaptation in athletes », *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*, vol. 19, n° 4, p. 355-365, août 2009.
- [59] B. Campbell *et al.*, « Pharmacokinetics, safety, and effects on exercise performance of L-arginine alpha-ketoglutarate in trained adult men », *Nutr. Burbank Los Angel. Cty. Calif.*, vol. 22, n° 9, p. 872-881, sept. 2006.
- [60] P. C. Colombani *et al.*, « Chronic arginine aspartate supplementation in runners reduces total plasma amino acid level at rest and during a marathon run », *Eur. J. Nutr.*, vol. 38, n° 6, p. 263-270, déc. 1999.
- [61] BECQUE D, LOCHMANN JD, MELROSE DR, « Effects of oral créatine supplementation on muscular strength and body composition. », *Med. Sci. Sports Exerc.*, p. 73- 82., 2000.
- [62] R. S. Santos *et al.*, « Study of the effect of oral administration of L-arginine on muscular performance in healthy volunteers: An isokinetic study », *Isokinet. Exerc. Sci.*, vol. 10, n° 3, p. 153-158, janv. 2002.
- [63] D. V. T. da Silva, C. A. Conte-Junior, V. M. F. Paschoalin, et T. da S. Alvares, « Hormonal response to L-arginine supplementation in physically active individuals », *Food Nutr. Res.*, vol. 58, mars 2014.

- [64] T. J. Marcell *et al.*, « Oral arginine does not stimulate basal or augment exercise-induced GH secretion in either young or old adults », *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.*, vol. 54, n° 8, p. M395-399, août 1999.
- [65] C. L. Camic *et al.*, « Effects of arginine-based supplements on the physical working capacity at the fatigue threshold », *J. Strength Cond. Res.*, vol. 24, n° 5, p. 1306-1312, mai 2010.
- [66] S. Demura, T. Yamada, S. Yamaji, M. Komatsu, et K. Morishita, « The effect of L-ornithine hydrochloride ingestion on performance during incremental exhaustive ergometer bicycle exercise and ammonia metabolism during and after exercise », *Eur. J. Clin. Nutr.*, vol. 64, n° 10, p. 1166-1171, oct. 2010.
- [67] S. Demura, K. Morishita, T. Yamada, S. Yamaji, et M. Komatsu, « Effect of L-ornithine hydrochloride ingestion on intermittent maximal anaerobic cycle ergometer performance and fatigue recovery after exercise », *Eur. J. Appl. Physiol.*, vol. 111, n° 11, p. 2837-2843, nov. 2011.
- [68] R. P. Elam, D. H. Hardin, R. A. Sutton, et L. Hagen, « Effects of arginine and ornithine on strength, lean body mass and urinary hydroxyproline in adult males », *J. Sports Med. Phys. Fitness*, vol. 29, n° 1, p. 52-56, mars 1989.
- [69] E. P. Silva, L. S. Borges, C. Mendes-da-Silva, S. M. Hirabara, et R. H. Lambertucci, « L-ARGININE SUPPLEMENTATION IMPROVES RATS' ANTIOXIDANT SYSTEM AND EXERCISE PERFORMANCE », *Free Radic. Res.*, p. 1-28, mars 2017.
- [70] A. Goron *et al.*, « Synergistic effects of citrulline supplementation and exercise on performance in male rats: evidences for implication of protein and energy metabolisms », *Clin. Sci. Lond. Engl. 1979*, mars 2017.
- [71] A. Sureda et A. Pons, « Arginine and citrulline supplementation in sports and exercise: ergogenic nutrients? », *Med. Sport Sci.*, vol. 59, p. 18-28, 2012.
- [72] A. Figueroa, A. Wong, S. J. Jaime, et J. U. Gonzales, « Influence of L-citrulline and watermelon supplementation on vascular function and exercise performance », *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care*, vol. 20, n° 1, p. 92-98, janv. 2017.
- [73] M. H. Hargreaves et R. Snow, « Amino acids and endurance exercise », *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*, vol. 11, n° 1, p. 133-145, mars 2001.

- [74] L. M. Castell, J. R. Poortmans, et E. A. Newsholme, « Does glutamine have a role in reducing infections in athletes? », *Eur. J. Appl. Physiol.*, vol. 73, n° 5, p. 488- 490, 1996.
- [75] J. Antonio, M. S. Sanders, D. Kalman, D. Woodgate, et C. Street, « The effects of high-dose glutamine ingestion on weightlifting performance », *J. Strength Cond. Res.*, vol. 16, n° 1, p. 157-160, févr. 2002.
- [76] D. G. Candow, P. D. Chilibeck, D. G. Burke, K. S. Davison, et T. Smith-Palmer, « Effect of glutamine supplementation combined with resistance training in young adults », *Eur. J. Appl. Physiol.*, vol. 86, n° 2, p. 142-149, déc. 2001.
- [77] Maes H, « L-carnitine : Simple complément alimentaire ou médicament ? De son importance biochimique à son potentiel thérapeutique. » Th : Université de Nantes, 2003.
- [78] J. R. Poortmans, H. Auquier, V. Renaut, A. Durussel, M. Saugy, et G. R. Brisson, « Effect of short-term creatine supplementation on renal responses in men », *Eur. J. Appl. Physiol.*, vol. 76, n° 6, p. 566-567, 1997.
- [79] P. Greenhaff, « Renal dysfunction accompanying oral creatine supplements », *Lancet Lond. Engl.*, vol. 352, n° 9123, p. 233-234, juill. 1998.
- [80] T. A. Churchward-Venne *et al.*, « Leucine supplementation of a low-protein mixed macronutrient beverage enhances myofibrillar protein synthesis in young men: a double-blind, randomized trial », *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 99, n° 2, p. 276-286, févr. 2014.
- [81] D. W. D. West *et al.*, « Rapid aminoacidemia enhances myofibrillar protein synthesis and anabolic intramuscular signaling responses after resistance exercise », *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 94, n° 3, p. 795-803, sept. 2011.
- [82] N. A. Burd, Y. Yang, D. R. Moore, J. E. Tang, M. A. Tarnopolsky, et S. M. Phillips, « Greater stimulation of myofibrillar protein synthesis with ingestion of whey protein isolate v. micellar casein at rest and after resistance exercise in elderly men », *Br. J. Nutr.*, vol. 108, n° 6, p. 958-962, sept. 2012.
- [83] P. J. Cribb et A. Hayes, « Effects of supplement timing and resistance exercise on skeletal muscle hypertrophy », *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 38, n° 11, p. 1918- 1925, nov. 2006.
- [84] J. D. Buckley, R. L. Thomson, A. M. Coates, P. R. C. Howe, M. O. DeNichilo, et M. K. Roney, « Supplementation with a whey protein hydrolysate

- enhances recovery of muscle force-generating capacity following eccentric exercise », *J. Sci. Med. Sport*, vol. 13, n° 1, p. 178-181, janv. 2010.
- [85] K. D. Tipton, T. A. Elliott, M. G. Cree, A. A. Aarsland, A. P. Sanford, et R. R. Wolfe, « Stimulation of net muscle protein synthesis by whey protein ingestion before and after exercise », *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, vol. 292, n° 1, p. E71-76, janv. 2007.
- [86] WILMORE JH et COSTILL DL, *Physiologie du sport et de l'exercice : adaptation physiologique à l'exercice physique.*, De Boeck Université. Bruxelles, 2006.
- [87] L. M. Burke, « Caffeine and sports performance », *Appl. Physiol. Nutr. Metab. Physiol. Appl. Nutr. Metab.*, vol. 33, n° 6, p. 1319-1334, déc. 2008.
- [88] N. T. Jenkins, J. L. Trilk, A. Singhal, P. J. O'Connor, et K. J. Cureton, « Ergogenic effects of low doses of caffeine on cycling performance », *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*, vol. 18, n° 3, p. 328-342, juin 2008.
- [89] D. G. Bell et T. M. McLellan, « Exercise endurance 1, 3, and 6 h after caffeine ingestion in caffeine users and nonusers », *J. Appl. Physiol. Bethesda Md 1985*, vol. 93, n° 4, p. 1227-1234, oct. 2002.
- [90] R. R. McCusker, B. A. Goldberger, et E. J. Cone, « Caffeine content of specialty coffees », *J. Anal. Toxicol.*, vol. 27, n° 7, p. 520-522, oct. 2003.
- [91] « Décret n° 2016-1939 du 28 décembre 2016 relatif à la déclaration publique d'intérêts prévue à l'article L. 1451-1 du code de la santé publique et à la transparence des avantages accordés par les entreprises produisant ou commercialisant des produits à finalité sanitaire et cosmétique destinés à l'homme | Legifrance ». Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2016/12/28/AFSX1637582D/jo/texte>.
- [92] T. G. Balshaw, T. M. Bampouras, T. J. Barry, et S. A. Sparks, « The effect of acute taurine ingestion on 3-km running performance in trained middle-distance runners », *Amino Acids*, vol. 44, n° 2, p. 555-561, févr. 2013.
- [93] Chabaud Marian, « La taurine ». Antenne médicale de prévention du dopage., juillet-2011.
- [94] T. Ylikoski, J. Piirainen, O. Hanninen, et J. Penttinen, « The effect of coenzyme Q10 on the exercise performance of cross-country skiers », *Mol. Aspects Med.*, vol. 18 Suppl, p. S283-290, 1997.

- [95] C. Malm, M. Svensson, B. Sjöberg, B. Ekblom, et B. Sjödin, « Supplementation with ubiquinone-10 causes cellular damage during intense exercise », *Acta Physiol. Scand.*, vol. 157, n° 4, p. 511-512, août 1996.
- [96] Manon Cuaz, « Place de la phytothérapie dans l'optimisation de l'effort du sportif », Faculté de pharmacie de Grenoble, 2016.
- [97] Audrey manet, « La spiruline : indications thérapeutiques, risques sanitaires et conseils à l'officine », Faculté de pharmacie de Grenoble, 2016.
- [98] M. Greenwood, D. Kalman, et J. Antonio, *Nutritional Supplements in Sports and Exercise*. Springer Science & Business Media, 2008.
- [99] « DOSSIER SANTE THEME : les complements alimentaires - DOSSIER_SANTEV2.pdf ».
- [100] « Arrêté du 9 mai 2006 relatif aux nutriments pouvant être employés dans la fabrication des compléments alimentaires | Legifrance ». Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000023980839>.
- [101] « Anses Agence nationale de securité sanitaire Alimentation Environnement Travail ». [En ligne]. Disponible sur: <https://pro.anses.fr/nutrivigilance/>.
- [102] « LISTE DES INTERDICTIONS », *Agence mondiale antidopage*, 22-déc-2016. Disponible sur: <https://www.wada-ama.org/fr/liste-des-interdictions>.
- [103] « Prévention du dopage et alimentation - Une norme AFNOR pour apporter de la confiance aux sportifs », *AFNOR Normalisation*, 15-juin-2012. .
- [104] « Cespharm - Campagne "Compléments alimentaires & dopage" ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.cespharm.fr/fr/Prevention-sante/Connaitre-le-Cespharm/Activites/Conception-et-realisation-d-actions-de-sante-publique/Campagne-Complements-alimentaires-dopage>.
- [105] « VassarStats: Statistical Computation Web Site ». Disponible sur: <http://vassarstats.net/>.
- [106] « AVIS et RAPPORT de l'Anses relatifs aux Risques liés à la consommation de compléments alimentaires destinés aux sportifs visant le développement musculaire ou la diminution de la masse grasse - NUT2014SA0008Ra.pdf ».
- [107] G. A. Green, D. H. Catlin, et B. Starcevic, « Analysis of over-the-counter dietary supplements », *Clin. J. Sport Med. Off. J. Can. Acad. Sport Med.*, vol. 11, n° 4, p. 254-259, oct. 2001.

- [108] H. Geyer, M. K. Parr, U. Mareck, U. Reinhart, Y. Schrader, et W. Schänzer,
« Analysis of non-hormonal nutritional supplements for anabolic-androgenic
steroids - results of an international study », *Int. J. Sports Med.*, vol. 25, n° 2, p.
124-129, févr. 2004.

**Annexe 1 : Evaluation de l'endurance spécifique
Test des 3 paliers de l'OMS
(16 minutes)**

Objectif :

Mesure indirecte de la PMA en watt au travers de la fréquence maximale cardiaque, puis en déduire par extrapolation le VO_2 max.

Matériel :

Vélo ergométrique à freinage mécanique/ électromagnétique avec cardio-fréquencemètre ou oxymètre de pouls

Protocole :

Après un échauffement de 4 minutes avec une charge d'environ 10 à 20 watts ; pédaler pendant 12 minutes à 60 RPM, de manière fractionnée en 3 paliers de 4 minutes en augmentant progressivement la puissance choisie pour chacun des 3 paliers en fonction de son âge, son sexe et son poids à l'aide du tableau de référence suivant :

| Hommes | | | | | | | | | | | | |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------|----------|----------|
| Âge | 20 - 29 | | | 30 - 39 | | | 40 - 49 | | | 50 ans et plus | | |
| Poids | Palier 1 | Palier 2 | Palier 3 | Palier 1 | Palier 2 | Palier 3 | Palier 1 | Palier 2 | Palier 3 | Palier 1 | Palier 2 | Palier 3 |
| 50 | 55-65 | 85-95 | 110-120 | 50-60 | 80-90 | 100-110 | 45-55 | 70-80 | 85-95 | 35-45 | 55-65 | 70-80 |
| 55 | 65-75 | 100-110 | 125-135 | 60-70 | 90-100 | 105-115 | 50-60 | 75-85 | 95-105 | 40-50 | 60-70 | 80-90 |
| 60 | 70-80 | 110-120 | 140-150 | 65-75 | 100-110 | 125-135 | 55-65 | 85-95 | 105-115 | 45-55 | 70-80 | 85-95 |
| 65 | 75-85 | 115-125 | 145-155 | 70-80 | 105-115 | 135-145 | 60-65 | 90-100 | 115-125 | 50-60 | 75-85 | 90-100 |
| 70 | 85-95 | 130-140 | 160-170 | 75-85 | 115-125 | 150-160 | 65-75 | 100-110 | 125-135 | 55-65 | 80-90 | 100-110 |
| 75 | 90-100 | 140-150 | 170-180 | 80-90 | 125-135 | 160-170 | 70-80 | 110-120 | 140-150 | 60-70 | 85-95 | 110-120 |
| 80 | 90-105 | 145-155 | 180-190 | 85-95 | 135-145 | 170-180 | 75-85 | 115-125 | 145-155 | 65-75 | 90-100 | 120-125 |
| 85 | 100-110 | 160-170 | 200-210 | 90-100 | 145-155 | 180-190 | 85-95 | 125-135 | 160-170 | 70-80 | 95-105 | 125-135 |
| 90 | 110-120 | 170-180 | 210-220 | 100-110 | 155-165 | 190-200 | 90-100 | 135-145 | 170-180 | 75-85 | 105-115 | 135-145 |
| 95 | 115-125 | 175-185 | 220-230 | 105-115 | 160-170 | 200-210 | 95-105 | 145-155 | 180-190 | 80-90 | 110-120 | 140-150 |
| 100 | 125-135 | 185-195 | 235-245 | 115-125 | 170-180 | 215-225 | 110-120 | 150-160 | 190-200 | 85-95 | 120-130 | 150-160 |

| FEMMES | | | | | | | | | | | | |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------|----------|----------|
| Âge | 20 - 29 | | | 30 - 39 | | | 40 - 49 | | | 50 ans et plus | | |
| Poids | Palier 1 | Palier 2 | Palier 3 | Palier 1 | Palier 2 | Palier 3 | Palier 1 | Palier 2 | Palier 3 | Palier 1 | Palier 2 | Palier 3 |
| 40 | 40-50 | 60-70 | 75-85 | 35-45 | 55-65 | 70-80 | 30-40 | 50-60 | 60-70 | 25-35 | 35-45 | 45-55 |
| 45 | 45-55 | 65-75 | 85-95 | 40-50 | 60-70 | 80-90 | 35-45 | 55-65 | 70-80 | 30-40 | 40-50 | 55-65 |
| 50 | 50-60 | 75-85 | 95-105 | 45-55 | 70-80 | 90-100 | 40-50 | 65-75 | 80-90 | 30-40 | 45-55 | 60-70 |
| 55 | 55-65 | 80-90 | 105-115 | 50-60 | 75-85 | 100-110 | 45-55 | 70-80 | 90-100 | 35-45 | 50-60 | 65-75 |
| 60 | 60-70 | 90-100 | 115-125 | 55-65 | 85-95 | 110-120 | 50-60 | 80-90 | 100-110 | 40-50 | 60-70 | 75-85 |
| 65 | 65-75 | 100-110 | 125-135 | 60-70 | 95-105 | 120-130 | 55-65 | 85-95 | 110-120 | 45-55 | 65-75 | 85-95 |
| 70 | 75-85 | 110-120 | 140-150 | 70-80 | 105-115 | 135-145 | 60-70 | 95-105 | 120-125 | 45-55 | 70-80 | 90-100 |
| 75 | 80-90 | 120-130 | 155-165 | 75-85 | 115-125 | 150-160 | 65-75 | 100-110 | 130-140 | 50-60 | 75-85 | 95-105 |
| 80 | 85-95 | 125-135 | 160-170 | 80-90 | 120-130 | 155-165 | 70-80 | 110-120 | 140-150 | 55-65 | 80-90 | 105-115 |
| 85 | 90-100 | 135-145 | 170-180 | 85-95 | 130-140 | 165-175 | 75-85 | 115-125 | 150-160 | 55-65 | 85-95 | 110-120 |

Ce tableau est celui de référence pour les personnes sédentaires. Ajouter 25 watts pour les personnes actives et 50 watts pour les personnes sportives pour pouvoir interpréter les résultats.

Mesurer la fréquence cardiaque de repos, à 3'30'' (FC1), 7'30'' (FC2) et 11'30'' (FC3) et reporter les résultats dans le tableau suivant :

| FC_{repos} | Palier 1 | Palier 2 | Palier 3 |
|----------------------------------|----------|----------|----------|
| Puissance (watts) | | | |
| Fréquence cardiaque (BPM) | | | |
| Cadence moyenne (RPM) | | | |

Calculer sa fréquence cardiaque maximale en BPM :

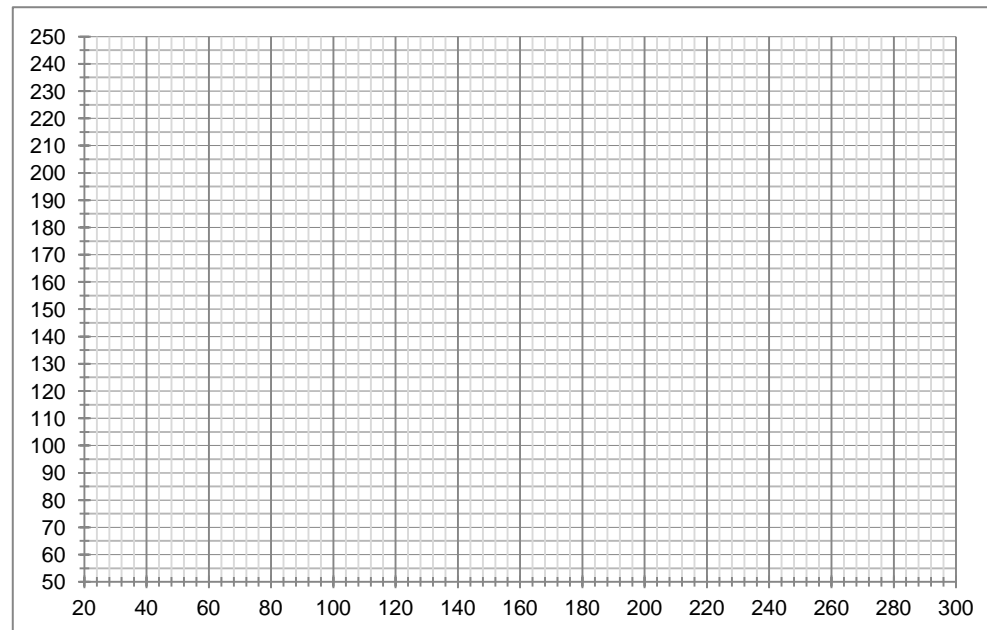
$$FC_{max\text{théorique}} = 206,9 - (0,67 \times Age) =$$

Sur le graphique ci-contre :

Tracer une droite parallèle à l'axe des abscisses correspondant à cette valeur de fréquence maximale théorique.

Placer ensuite les 3 points correspondants aux mesures des fréquences FC1, FC2 et FC3 et des puissances correspondantes.

Fréquence Cardiaque (BPM)



Puissance (Watts)

Tracer une droite de régression linéaire et la prolonger jusqu'à intersection avec la droite de la FC_{max} théorique.

La PMA est la puissance correspondant à ce point d'intersection entre la droite de régression et la FC_{max} théorique.

$$PMA =$$

(En cyclisme)

Calcul du VO_2 max absolu en L/min :

PMA entre 50 et 200 watts

$$VO_{2\text{maxabsolu}} = 0,012 \times PMT + 0,3 =$$

PMA entre 200 et 400 watts

$$VO_{2\text{maxabsolu}} = 0,0146 \times PMT - 0,14 =$$

Calcul du VO_2 max relatif en mL/min/kg :

$$VO_{2\text{maxrelatif}} = \frac{VO_{2\text{maxabsolu}} \times 1000}{Masse\text{corporelle}} =$$

Extrapolation de la VMA en km/h :

(Course à pieds)

$$VMA = \frac{VO_{2\text{max}}}{3,5} =$$

Annexe 1 bis : Evaluation de l'endurance spécifique
Test des 3 paliers de l'OMS
 (16 minutes)

Objectif :

Mesure indirecte de la PMA en watt au travers de la fréquence maximale cardiaque, puis en déduire par extrapolation le VO_2 max.

Matériel :

Vélo ergométrique à freinage mécanique/ électromagnétique ou cardio-fréquencemètre ou oxymètre de pouls

Protocole :

Après un échauffement de 4 minutes avec une charge d'environ 10 à 20 watts ; pédaler pendant 12 minutes à 60 RPM, de manière fractionnée en 3 paliers de 4 minutes en augmentant progressivement la puissance choisie pour chacun des 3 paliers en fonction de son âge, son sexe et son poids à l'aide du tableau de référence suivant :

| Hommes | | | | | | | | | | | | |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------|----------|----------|
| Âge | 20 - 29 | | | 30 - 39 | | | 40 - 49 | | | 50 ans et plus | | |
| Poids | Palier 1 | Palier 2 | Palier 3 | Palier 1 | Palier 2 | Palier 3 | Palier 1 | Palier 2 | Palier 3 | Palier 1 | Palier 2 | Palier 3 |
| 50 | 55-65 | 85-95 | 110-120 | 50-60 | 80-90 | 100-110 | 45-55 | 70-80 | 85-95 | 35-45 | 55-65 | 70-80 |
| 55 | 65-75 | 100-110 | 125-135 | 60-70 | 90-100 | 105-115 | 50-60 | 75-85 | 95-105 | 40-50 | 60-70 | 80-90 |
| 60 | 70-80 | 110-120 | 140-150 | 65-75 | 100-110 | 125-135 | 55-65 | 85-95 | 105-115 | 45-55 | 70-80 | 85-95 |
| 65 | 75-85 | 115-125 | 145-155 | 70-80 | 105-115 | 135-145 | 60-65 | 90-100 | 115-125 | 50-60 | 75-85 | 90-100 |
| 70 | 85-95 | 130-140 | 160-170 | 75-85 | 115-125 | 150-160 | 65-75 | 100-110 | 125-135 | 55-65 | 80-90 | 100-110 |
| 75 | 90-100 | 140-150 | 170-180 | 80-90 | 125-135 | 160-170 | 70-80 | 110-120 | 140-150 | 60-70 | 85-95 | 110-120 |
| 80 | 90-105 | 145-155 | 180-190 | 85-95 | 135-145 | 170-180 | 75-85 | 115-125 | 145-155 | 65-75 | 90-100 | 120-125 |
| 85 | 100-110 | 160-170 | 200-210 | 90-100 | 145-155 | 180-190 | 85-95 | 125-135 | 160-170 | 70-80 | 95-105 | 125-135 |
| 90 | 110-120 | 170-180 | 210-220 | 100-110 | 155-165 | 190-200 | 90-100 | 135-145 | 170-180 | 75-85 | 105-115 | 135-145 |
| 95 | 115-125 | 175-185 | 220-230 | 105-115 | 160-170 | 200-210 | 95-105 | 145-155 | 180-190 | 80-90 | 110-120 | 140-150 |
| 100 | 125-135 | 185-195 | 235-245 | 115-125 | 170-180 | 215-225 | 110-120 | 150-160 | 190-200 | 85-95 | 120-130 | 150-160 |

| FEMMES | | | | | | | | | | | | |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------|----------|----------|
| Âge | 20 - 29 | | | 30 - 39 | | | 40 - 49 | | | 50 ans et plus | | |
| Poids | Palier 1 | Palier 2 | Palier 3 | Palier 1 | Palier 2 | Palier 3 | Palier 1 | Palier 2 | Palier 3 | Palier 1 | Palier 2 | Palier 3 |
| 40 | 40-50 | 60-70 | 75-85 | 35-45 | 55-65 | 70-80 | 30-40 | 50-60 | 60-70 | 25-35 | 35-45 | 45-55 |
| 45 | 45-55 | 65-75 | 85-95 | 40-50 | 60-70 | 80-90 | 35-45 | 55-65 | 70-80 | 30-40 | 40-50 | 55-65 |
| 50 | 50-60 | 75-85 | 95-105 | 45-55 | 70-80 | 90-100 | 40-50 | 65-75 | 80-90 | 30-40 | 45-55 | 60-70 |
| 55 | 55-65 | 80-90 | 105-115 | 50-60 | 75-85 | 100-110 | 45-55 | 70-80 | 90-100 | 35-45 | 50-60 | 65-75 |
| 60 | 60-70 | 90-100 | 115-125 | 55-65 | 85-95 | 110-120 | 50-60 | 80-90 | 100-110 | 40-50 | 60-70 | 75-85 |
| 65 | 65-75 | 100-110 | 125-135 | 60-70 | 95-105 | 120-130 | 55-65 | 85-95 | 110-120 | 45-55 | 65-75 | 85-95 |
| 70 | 75-85 | 110-120 | 140-150 | 70-80 | 105-115 | 135-145 | 60-70 | 95-105 | 120-125 | 45-55 | 70-80 | 90-100 |
| 75 | 80-90 | 120-130 | 155-165 | 75-85 | 115-125 | 150-160 | 65-75 | 100-110 | 130-140 | 50-60 | 75-85 | 95-105 |
| 80 | 85-95 | 125-135 | 160-170 | 80-90 | 120-130 | 155-165 | 70-80 | 110-120 | 140-150 | 55-65 | 80-90 | 105-115 |
| 85 | 90-100 | 135-145 | 170-180 | 85-95 | 130-140 | 165-175 | 75-85 | 115-125 | 150-160 | 55-65 | 85-95 | 110-120 |

Ce tableau est celui de référence pour les personnes sédentaires. Ajouter 25 watts pour les personnes actives et 50

watts pour les personnes sportives pour pouvoir interpréter les résultats.

Mesurer la fréquence cardiaque de repos, à 3'30'' (FC1), 7'30'' (FC2) et 11'30'' (FC3) et reporter les résultats dans le tableau suivant :

| | | | | |
|----------------------------------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| $Fc_{repos} =$ | 72 | <i>Palier 1</i> | <i>Palier 2</i> | <i>Palier 3</i> |
| <i>Puissance (watts)</i> | 110 | 150 | 190 | |
| <i>Fréquence cardiaque (BPM)</i> | 115 | 145 | 168 | |
| <i>Cadence moyenne (RPM)</i> | 60 | 59 | 62 | |

Calculer sa fréquence cardiaque maximale en BPM :

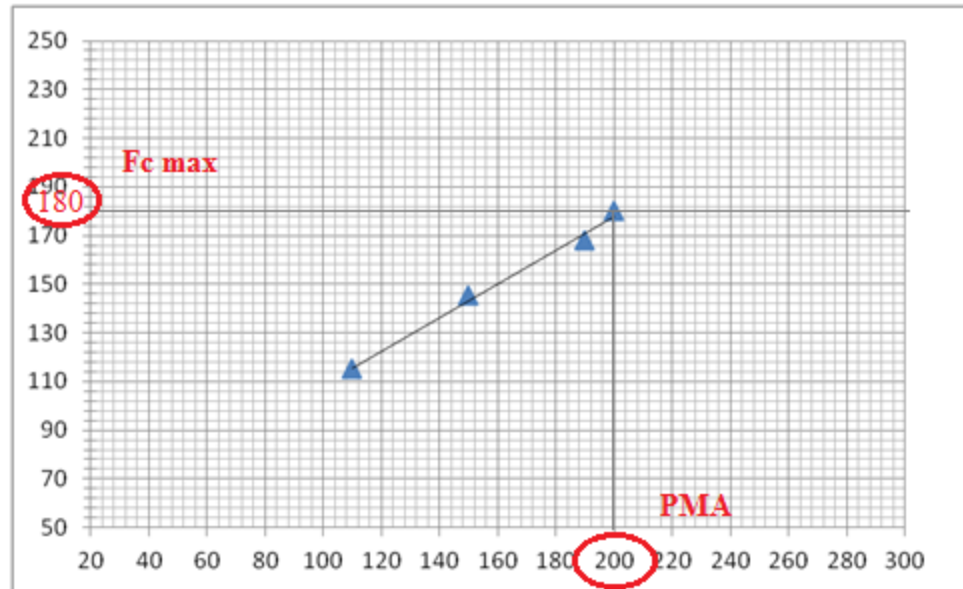
$$F_{cmaxthéorique} = 206,9 - (0,67 \times Age) = \mathbf{180,1}$$

Sur le graphique ci-contre en BPM :

Tracer une droite parallèle à l'axe de abscisses correspondant à cette valeur de fréquence maximale théorique.

Placer ensuite les 3 points correspondants aux mesures des fréquences FC1, FC2 et FC3 et des puissances correspondantes.

Fréquence Cardiaque (BPM)



Puissance (Watts)

Tracer une droite de régression linéaire et la prolonger jusqu'à intersection avec la droite de la F_{cmax} théorique.

La PMA est la puissance correspondant à ce point d'intersection entre la droite de régression et la F_{cmax} théorique.

$$PMA = \mathbf{200}$$

(En cyclisme)

Calcul du VO_2 max absolu en L/min :
 PMT entre 50 et 200 watts

$$VO_{2maxabsolu} = 0,012 \times PMT + 0,3 = \mathbf{2,7}$$

PMT entre 200 et 400 watts

~~$$VO_{2maxabsolu} = 0,0146 \times PMT - 0,14 =$$~~

Calcul du VO_2 max en mL/min/kg :

$$VO_{2max} = \frac{VO_{2maxabsolu} \times 1000}{Massecorporelle} = \mathbf{27}$$

Extrapolation de la VMA en km/h :
 (Course à pied)

$$VMA = \frac{VO_{2max}}{3,5} = \mathbf{7,71}$$

Annexe 2 : Présentation des zones de travail de l'effort sportif.

Cet outil identifie les intensités d'efforts à fournir pour atteindre les différentes zones de travail choisies en fonction des objectifs d'entraînement.

Une fois les objectifs d'entraînement déterminés, calculer sa Fréquence optimale d'entraînement, selon la formule de Karvonen suivante :

$$\begin{aligned}
 & F_{C_{\text{optimale d'entraînement}}} \\
 &= \mathbf{X\%} \times F_{C_{\text{réserve}}} + F_{C_{\text{repos}}} \\
 &= \mathbf{X\%} \times (F_{C_{\text{max théorique}}} - F_{C_{\text{repos}}}) \\
 &\quad + F_{C_{\text{repos}}}
 \end{aligned}$$

Le X représente l'intensité de l'exercice que l'athlète veut obtenir, référencé dans la dernière colonne du tableau. L'OMS préconise, afin de viser une santé minimale, une intensité d'effort comprise entre 40 et 49 % de la fréquence de réserve.

| Zone | But | Effort | Bénéfices | Durée | Intensité (X % $F_{C_{\text{réserve}}}$) | Intensité (% PMA_e) |
|------------------------|----------------------|--|--|------------------|--|---------------------------|
| Léger | Exercice léger | Maintien cardiaque | Intensité adaptée à la reprise d'une activité physique avec création de capillaires sanguins et optimisation des réserves énergétiques. | Plusieurs heures | 50 – 60 % | 30 à 50 % |
| Brûleur | Maigrir | Consommation lipides | Action préventive des blessures avec renforcement de l'appareil osteo tendineux. Augmentation du potentiel oxydatif par augmentation de la masse enzymatique mitochondriale, consommation lipides, épargne du glycogène. | 1h30 | 60 – 70 % | 50 – 70 % |
| Base | Endurance de base | Augmentation de l'endurance aérobie | Augmentation de la densité de capillaire pour un meilleur transport de l'O ₂ et des substrats (6 à 24 semaines d'entraînement augmentent de 20 à 29 % la capillarisation musculaire). Augmentation de la clairance des lactates. | 30' à 1h | 70 – 80 % | 70 – 80 % |
| Amélioration allure | Condition physique | Maintien d'une condition physique maximale | Adapté pour la reprise de l'activité physique des athlètes. | 10' à 20' | 80 – 90 % | 80 – 90 % |
| Puissance aérobie | Entraînement intense | Maintien d'une condition physique maximale | Adapté pour la reprise de l'activité physique des athlètes. | 5' | 90 – 100 % | 90 – 100 % |
| Exercice supra-maximal | Lactique | Sprint long | Adapté pour l'activité physique des athlètes. | 2' | Non utilisée | 100 à 180 % |
| | Alactique | Sprint court | Adapté pour l'activité physique des athlètes. | 20'' | Non utilisée | 180 à 300 % |

Annexe 3 : Evaluer son état nutritionnel

L'évaluation de votre état nutritionnel est basée sur une collecte de 7 jours consécutifs d'informations sur les aliments consommés. Après s'être inscrit sur le site www.les-calories.com, veuillez rassembler dans le tableau suivant les informations sur votre répartition alimentaire à l'aide de la rubrique « calcul » dans le tableau suivant.

| | Repas | Aliments | Quantités (g) | Calories (kcal) | Total répartition (%) | | |
|----------------------|----------------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------------|---------|-----------|
| | | | | | Glucides | Lipides | Protéines |
| Lundi | Petit-déjeuner | | | | | | |
| | 10 h | | | | | | |
| | Déjeuner | | | | | | |
| | 16 h | | | | | | |
| | Diner | | | | | | |
| | Total journée (kcal) | | | | | | |
| | Mardi | Petit-déjeuner | | | | | |
| 10 h | | | | | | | |
| Déjeuner | | | | | | | |
| 16 h | | | | | | | |
| Diner | | | | | | | |
| Total journée (kcal) | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|----------|----------------------|--|--|--|--|--|--|
| Mercredi | Petit-déjeuner | | | | | | |
| | 10 h | | | | | | |
| | Déjeuner | | | | | | |
| | 16 h | | | | | | |
| Jeudi | Diner | | | | | | |
| | Total journée (kcal) | | | | | | |
| | Petit-déjeuner | | | | | | |
| | 10 h | | | | | | |
| Vendredi | Déjeuner | | | | | | |
| | 16 h | | | | | | |
| | Diner | | | | | | |
| | Total journée (kcal) | | | | | | |

| | | | | | | | |
|----------------------|----------------------|--|--|--|--|--|--|
| | Diner | | | | | | |
| | Total journée (kcal) | | | | | | |
| Samedi | Petit-déjeuner | | | | | | |
| | 10 h | | | | | | |
| | Déjeuner | | | | | | |
| | 16 h | | | | | | |
| | Diner | | | | | | |
| | Total journée (kcal) | | | | | | |
| Dimanche | Petit-déjeuner | | | | | | |
| | 10 h | | | | | | |
| | Déjeuner | | | | | | |
| | 16 h | | | | | | |
| | Diner | | | | | | |
| | Total journée (kcal) | | | | | | |
| Total semaine (kcal) | | | | | | | |

Chez le sédentaire, les besoins sont entre **1800** et **2600** kcal/j chez l'homme et **2200** kcal/j chez la femme.

Chez l'homme sportif toutes disciplines confondues, ils avoisineraient les **3000** à **6000** kcal/j et entre **2600** et **3300** kcal/j chez l'athlète féminine.

Les apports énergétiques chez les sportifs d'endurance varient en moyenne entre **45** et **85** kcal/kg/j pour rééquilibrer la balance énergétique. Pour les disciplines anaérobies, les apports sont spontanément plus faibles (entre **25** et **60** kcal/kg/j).

Au quotidien, dans la ration d'entraînement, la proportion de glucides, protéines et lipides doit être respectivement de 4 (55 %) : 1 (15 %) : 2 (30 %), répartie en 4 voire 5 repas, avec 1,5 L de boisson minimum.

Annexe 4 : Principes de nutrition pour tous types de sports (force, mixte ou endurance) pour les périodes d'entraînements, hors compétitions

Le but de cette fiche résumée est de donner une base nutritive aux pratiquants d'une activité sportive, qu'elle soit de force, mixte ou d'endurance, en détaillant les principaux macronutriments et micronutriments et les diverses adaptations alimentaires que le sportif se devra de réaliser à l'approche des compétitions. En effet, les besoins nutritionnels vont varier en fonction des périodes sportives. Il est important de réaliser toute innovation alimentaire en dehors des périodes de compétitions.

Vous avez dit glucides ?

Les glucides sont les principaux carburants des exercices courts et intenses. Pour les exercices de longue durée, ils interviennent majoritairement en début d'effort pour laisser ensuite place aux substrats lipidiques. Les sucres « rapides » sont essentiellement le glucose, le saccharose, le lactose, le maltose ou encore la maltodextrine ; les sucres « lents » sont par exemple l'amidon.

L'index glycémique (IG*) représente l'évolution de la glycémie en fonction du temps. Plus l'IG est faible, plus l'aliment en question libère son énergie progressivement, ce qui évite une sécrétion d'insuline trop importante qui pourrait entraîner une hypoglycémie réactionnelle avec sensation de faim et de fatigue préjudiciable à l'exercice physique.

Le tableau suivant permet de classer des exemples d'aliments en fonction de leur index glycémique.

| IG élevé (> 75) | IG moyen (50 à 75) | IG faible (<50) |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Glucose | Riz blanc | Lait entier ou demi-écrémé |
| Carottes cuites | Pain complet | Lentilles |
| Pain blanc | Barre de céréales | Carottes crues |
| Frites | Abricots frais ou au sirop | Oranges, pommes |
| Purée de pomme de terre | Bananes mûres | Abricots secs |
| Riz au lait | Raisins secs | Pâtes |
| Bière | Confiture, miel | Fructose |

Pour les efforts de plus de 90 min, il est important d'adopter un régime dissocié modifié précompétitif qui consiste en une phase d'alimentation hyperglucidique 3 jours précédents une compétition. L'objectif est de retarder l'épuisement des stocks en glycogène et l'apparition d'une fatigue musculaire lors de l'épreuve.

Vous avez dit lipides ?

Les lipides, au court d'un effort léger à modéré de longue durée, se révèlent être le principal carburant de l'organisme. Pour des efforts d'intensité modérée, les graisses et les glucides participent à l'apport d'énergie de manière quasiment équivalente à partir de la 40ème minute.

La classification de ces lipides se fait en fonction du nombre d'insaturation : il existe les Acides Gras Saturés (AGS), les Acides Gras MonoInsaturés (AGMI) et les Acides Gras PolyInsaturés (AGPI), eux même désignés par le terme oméga (Ω) ; qui se répartiront dans la ration lipidique dans des proportions différentes.

Le tableau suivant permet de classer des exemples d'aliments en fonction de leur nombre d'insaturation.

| AGS | AGMI | AGPI | |
|----------------|-------------------|---------------------------|-----------|
| Beurre | Huile d'olive | Oméga 6 | Oméga 3 |
| Crème fraîche | Huile d'arachide | Huile de pépins de raisin | Sardine |
| Huile de palme | Huile de colza | Huile de tournesol | Maquereau |
| Végétaline | Graisse de canard | Huile d'arachide | Saumon |
| Fromage | Volaille, Porc | Huile de lin | Hareng |
| Charcuterie | Amandes | Huile de colza | |
| Pâtisseries | Noisettes | Huile de noix | |

Vous avez dit protéines ?

Le degré d'utilisation des acides aminés, constituants les protéines, pour fournir de l'énergie diffère en fonction de l'état nutritionnel, l'intensité et la durée de l'exercice. L'oxydation des protéines est d'autant plus sollicitée que l'intensité et la durée de l'exercice augmente et est dépendant des réserves glucidique : une fois les réserves glycogénique épuisée, le catabolisme protéique augmente. Il n'existe pas de réserves en acides aminés autre que celles contenues au sein des protéines structurales et fonctionnelles. Si besoin, ce sont les protéines du sang ou des tissus qui seront lysées et utilisées. La supplémentation en protéine permet donc la reconstruction des protéines de structure du muscle en plus de fournir de l'énergie et sera nécessaire aux sportifs dont les entraînements sont éprouvants puisqu'ils doivent maintenir leurs réserves protéiques à un niveau optimal.

L'indice protéique représente, au sein de l'aliment en question, le pourcentage de présence des acides aminés essentiels (isoleucine, leucine, lysine, méthionine, phénylalanine, thréonine, tryptophane, valine), dont la référence est la protéine de l'œuf, qui en fournit un mélange optimal.

Le tableau suivant permet de classer des exemples d'aliments en fonction de leur indice protéique.

| Aliments | Indice protéique |
|-----------------------|------------------|
| Œuf de poule | 100 |
| Lait de vache | 60 |
| Poisson | 70 |
| Viande de bœuf | 69 |
| Pomme de terre / Soja | 57 |
| Riz | 64 |
| Haricots | 58 |
| Farine de blé blanche | 58 |
| Cacahuète | 43 |
| Pomme de terre | 34 |

Vous avez dit micronutrition ?

Les besoins en vitamines, minéraux et oligoéléments sont généralement couverts par une alimentation diverse et variée. La supplémentation sera à envisager qu'en cas de carence. Une attention particulière devra être portée sur le fer, notamment chez les femmes, l'apport en anti-oxydants (bêta-carotène et vitamine E) pour limiter le phénomène de stress oxydatif et le magnésium qui pourra être apporté par de la cacao pur, le raisin, le soja ou les haricots blanc. Le sportif d'endurance pourra se compléter en vitamine B et, en plus de celui de force, devra apporter plus de calcium pour lutter contre la déminéralisation de l'os limiter les risques d'ostéoporose et de fracture de fatigue. Les compléments poly-vitaminés seront surtout intéressants chez les sportifs de force en période de régime restrictifs pour éviter l'apparition de carences alimentaires.

Vous avez dit hydratation ?

La sueur produite pendant l'effort permet de dissiper la chaleur. Il est possible d'évaluer son état hydrique en pratiquant un pesée avant et après l'effort ou en regardant la coloration de ses urines. En période d'entraînement, il sera intéressant de boire 1L/h d'exercice en hiver et 1,5 L/h en été, par petite fraction toute les 15 minutes.

Il est également important de boire après l'effort pour continuer d'éliminer les déchets jusqu'à lors accumulés. Utiliser de préférence des eaux bicarbonatées et sodées telles que Quezac ou salvetat pour compenser les pertes hydroélectriques : ceci permettra de tamponner l'acidité produite par le muscle pendant l'effort et favorise la récupération.

En résumé

| Nutriments | Période d'entraînement | Compétitions Sports d'endurance & mixtes | Compétitions Sports de force Perte de poids et sèche | Répartition |
|--------------|--|--|--|---|
| kcal/g | Proportion en % de l'AETQ (Apports énergétiques totaux quotidiens) | | | |
| Glucides - 4 | 50 à 55 % soit 10g/kg/j | 70 à 80 % | 30 à 45 % | 80 % IG bas et 20 % IG élevé |
| Lipides - 9 | 30 à 35 % soit entre 1 et 1.2 g/kg/j | 8 à 15 % | 30 à 35 % | 25 % de l'AETQ sous forme d'AGS ; 60 % de l'AETQ sous forme d'AGMI ; 15 % d'AGPI (dont 4 % d' Ω 6, représentant entre 8 et 10 g/j et 0.8 % sous forme d' Ω 3, soit 1.6 à 2 g/j.) |
| Protides - 4 | 12 à 16 % soit entre 1 et 1.5 g/kg/j | 12 à 16 % Jusqu'à 1,5 g/kg/j | 25 à 35 % Jusqu'à 2,2 g/kg/j | 40 à 50 % d'origine animal (plus riche en acides aminés essentiels) |

Annexe 5 : Principes de nutrition pour les sports mixtes ou d'endurance en période de compétition

Le but de cette fiche résumée est de donner une base nutritive aux pratiquants d'une activité sportive mixte ou d'endurance, en détaillant les diverses adaptations alimentaires que le sportif se devra de réaliser à l'approche des compétitions. En effet, les besoins nutritionnels vont varier en fonction des périodes sportives. Il est important de réaliser toute innovation alimentaire en dehors des périodes de compétitions.

J-3 avant la compétition :

Pour les efforts de plus de 90 min, adopter le régime dissocié modifié constitué de repas hyperglucidiques et augmenter les apports hydriques à 2,5 L/j et boire de préférence en dehors des repas.

Jour de la compétition :

Dernier repas de 500 à 1000 kcal devra être hyperglucidique (constitué de glucides à index glycémique bas), à prendre 3 à 4h au plus tard avant l'épreuve. Apporter ensuite 1 à 2 g d'hydrate de carbone avec 0,15 à 0,25 g de protéines et boire à intervalles réguliers jusqu'au début de l'échauffement (dont 1L d'eau dans les 2h avant la compétition).

Pas de graisses, d'excitants ou d'innovation alimentaire le jour de la compétition.

Début de l'échauffement :

Consommer des boissons sucrées ou des pâtes de fruits.

Pendant l'effort :

Apporter 20 à 30 g graisse/h d'effort, 0,5 à 4 L d'eau/h avec 1,2 g de NaCl et 60 à 80 g de glucides. Fractionner les prises pendant l'effort et s'hydrater toutes les 15 à 20 min avec 125 à 250 mL de boissons.

Les boissons d'effort hypotonique sont à utiliser en cas d'exercice en altitude ou de forte chaleur, les boissons hypertoniques par temps froid ; mais les boissons à privilégier restent les boissons isotoniques. La composition des boissons de l'effort doivent contenir pour 1 L de boissons : 15 à 87 g de glucide, 460 à 1150 mg de Sodium et une osmolarité inférieure à 330 mOsm).

Après la compétition

Dès la fin de l'exercice, boire 1,5 L/kg de poids perdu en eau. Dans les 30 minutes premières minutes de récupération, consommer 1,5 g/kg de graisse puis toutes les 2h jusqu'à 6h après l'arrêt de l'effort. Le premier repas se devra d'être léger et hyperglucidique.

J+1 après la compétition :

Retour à une alimentation normale.

Annexe 6 : Principes de nutrition pour les sports de force à catégorie de poids en période de compétition

Le but de cette fiche résumée est de donner une base nutritive aux pratiquants d'une activité sportive de force à catégorie de poids, en détaillant les diverses adaptations alimentaires que le sportif se devra de réaliser à l'approche des compétitions. En effet, les besoins nutritionnels vont varier en fonction des périodes sportives.

Période de prise de masse :

Pour privilégier une prise en masse maigre en limitant celle de masse grasse, il suffit d'augmenter les apports quotidiens de 250 à 500 kcal/j par rapport à ses apports caloriques quotidiens, dans des proportions habituelles. La valeur exacte est à ajuster en fonction des changements physiques observés et de la variation du poids sur la balance.

Période de régime restrictif :

Il faut d'une part augmenter la proportion d'apport en protéines (privilégier les œufs entiers et les viandes à 15 ou 20 % de matière grasse), éviter de diminuer les apports en lipides, surveiller l'équilibre acido-basique puisque le catabolisme protéine alors augmenté entraîne des déchets acides et consommer des fruits et légumes tels que bananes, pommes, amandes, brocolis, choux, champignons, etc à chaque repas, ou boire une eau bicarbonatée (Badoit, Quézac, Salvetat...)

L'entraînement se fera avec des charges moins lourdes et un nombre augmenté de répétition.

->Période d'amaigrissement :

Pour privilégier une perte en masse grasse en limitant celle de masse maigre, il suffit de diminuer les apports quotidiens de 250 à 500 kcal/j et de ne pas excéder une perte de 0,5 kg/semaine et 2 kg/mois. Quand la perte de poids stagne, passer à une alimentation cyclique en introduisant des glucides sur une période de 24 à 48h souvent le week end. Il est possible de répartir ses rations quotidiennes sur 5 repas pour ne pas ressentir de sensation de faim.

->Période de sèche :

Ce régime, aux fins uniquement esthétiques, élimine la couche résiduelle d'eau située entre la peau et le muscle pour un rendu musculaire très sculptural faisant ressortir les fibres musculaires et les veines. Mettre en place une alimentation cétogène en réduisant les rations de glucides à moins de 20g/j comme le détaille le protocole sur 7 jours suivant et surveiller son efficacité via des bandelettes urinaires cétoniques (si absence de corps cétoniques après 3 jours de régime, réduire la proportion de glucides).

J1 à J3 : Vider les stocks de glycogène.

Consommer entre 50 et 100g de glucide/j. Boire beaucoup (Volvic) jusqu'à avoir envie d'uriner couramment dans la journée, avec des urines claires. Rajouter du sel à tous les plats.

J4 : Recharger progressivement les muscles en glycogène.

Introduire des glucides après l'entraînement avec 50 g/repas (maximum 300g/j). Diviser par deux les apports en sel. Ne consommer pas plus de 2L d'eau par jour. Supplémenter en potassium (400 à 500 mg/j) avec par exemple des bananes.

J5 : Identique à J4

La quantité de glucide passe de 50 à 100 g/repas, avec un maximum de 500 g/j. Ne pas boire au delà de 1,5 L d'eau quotidiennement.

J6 : Identique à J5

Arrêt du sel et éviter les végétaux (carotte, betterave, céleri, oignon, persil, épinards, tomates, navets) et les aliments protéinés (privilégier blanc de poulet, blanc d'œuf) qui en contiennent. Boire 1L d'eau dans la journée et utiliser des plantes diurétiques (queue de cerise, bouleau, pissenlit).

J7 : Identique à J6.

Boire des petites gorgées d'eau dans la journée. Privilégier les glucides à index glycémique élevé (maltodextrine) dans les heures qui précède la compétition.

Annexe 7 : Enquête - Utilisation des compléments alimentaires chez le sportif

Dans le but de réaliser une thèse sur le conseil nutritionnel prodigué aux sportifs, pour l'obtention de mon diplôme de fin d'études de pharmacie, je réalise un sondage, auprès des personnes pratiquant une activité sportive, concernant la prise de compléments alimentaires.

Ceux-ci complètent l'alimentation et fournissent des nutriments ou des substances ayant un effet nutritionnel ou physiologique (vitamines, minéraux, glucides, lipides, protéines, sels, etc) et sont commercialisés sous forme de gélules, comprimés, ampoules, poudre, solutions buvables, barres alimentaires, tisanes, etc.

Merci de bien vouloir prendre quelques minutes pour répondre à ce questionnaire anonyme.

| |
|--|
| <p>1. Quel sport pratiquez-vous ?</p> <p><i>PRECISEZ :</i></p> <p><i>Merci de ne référencer qu'un sport</i></p> |
| <p>2. Qui êtes vous ?</p> <p><input type="checkbox"/> Un homme</p> <p><input type="checkbox"/> Une femme</p> <p>3. Quel âge avez-vous ?</p> <p><input type="checkbox"/> < 18 ans</p> <p><input type="checkbox"/> 19 – 34 ans</p> <p><input type="checkbox"/> 35 – 49 ans</p> <p><input type="checkbox"/> 50 – 64 ans</p> <p><input type="checkbox"/> > 65 ans</p> |
| <p>4. Où pratiquez vous votre activité physique ?</p> <p><input type="checkbox"/> Par vous même, sans entraîneur</p> <p><input type="checkbox"/> Sous la surveillance d'un entraîneur</p> <p>5. Combien de temps pratiquez vous cette activité physique ?</p> <p><input type="checkbox"/> < 3h</p> <p><input type="checkbox"/> 3 à 5h</p> <p><input type="checkbox"/> 6 à 10h</p> <p><input type="checkbox"/> > 10h</p> |
| <p>6. Dans quel but pratiquez vous une activité physique ?</p> <p><input type="checkbox"/> Détente / Maintien de la forme et de la santé / Perte de poids</p> <p><input type="checkbox"/> Développement physique / Challenge personnel (sans compétitions)</p> <p><input type="checkbox"/> Compétitions non professionnelles</p> <p><input type="checkbox"/> Compétitions professionnelles</p> <p><input type="checkbox"/> Exercice d'une profession sportive</p> |
| <p>7. Saviez-vous qu'il était possible de se procurer des compléments alimentaires pour sportifs en pharmacie ?</p> <p><input type="checkbox"/> oui</p> <p><input type="checkbox"/> non</p> |
| <p>8. Consommez-vous des compléments alimentaires ?</p> <p><input type="checkbox"/> non</p> <p><input type="checkbox"/> oui, occasionnellement</p> <p><input type="checkbox"/> oui, en rapport avec les compétitions</p> <p><input type="checkbox"/> oui, tous les jours</p> <p><i>Si non, merci de ne pas continuer le questionnaire</i></p> |

| |
|--|
| <p>9. Quels types de compléments alimentaires consommez-vous ?</p> <p><i>Possibilité de réponses multiples</i></p> <p><input type="checkbox"/> Vitamines et Minéraux <i>Ex : Isoxan, Berocca, Alvityl, Vitascorbol et autres</i></p> <p><input type="checkbox"/> Fer et/ou magnésium <i>Ex : Magné vie B6, Thalamag et autres</i></p> <p><input type="checkbox"/> Anti oxydants <i>Ex : Vit C, vit E, sélénium et autres</i></p> <p><input type="checkbox"/> Acides aminés et protéines <i>Ex : Créatine, Arginine, Glutamine, Ornithine, BCAA et autres</i></p> <p><input type="checkbox"/> Produits énergétiques et d'hydratation <i>Ex : Boissons énergisantes et autres</i></p> <p><input type="checkbox"/> Ergogéniques "boosters de performances" <i>Ex : Taurine, Caféine, Guarana et autres</i></p> <p><input type="checkbox"/> Accélérateurs de récupération</p> <p><input type="checkbox"/> Produits à base de plantes <i>Ex : Fénugrec, Eleuthérocoque, Spiruline, Guarana, Ginseng et autres</i></p> <p><input type="checkbox"/> Homéopathie <i>Ex : Sporténine, Cuprum metallicum, Arnica montana et autre</i></p> |
| <p>9. Dans quel but consommez-vous ces compléments alimentaires ?</p> <p><i>Possibilité de réponses multiples</i></p> <p><input type="checkbox"/> Amélioration des performances (résistance, puissance, énergie, endurance)</p> <p><input type="checkbox"/> Amélioration de la récupération / Baisse de la fatigue / Limiter les traumatismes</p> <p><input type="checkbox"/> Carence alimentaire / Apport alimentaire insuffisant</p> <p>10. Avez-vous constaté des changements après avoir pris ces compléments ?</p> <p><i>Possibilité de réponses multiples</i></p> <p><input type="checkbox"/> Meilleures performances</p> <p><input type="checkbox"/> Meilleure récupération, moins de fatigue</p> <p><input type="checkbox"/> Aucun changement</p> |
| <p>11. A qui avez-vous demandé conseil pour choisir vos compléments ?</p> <p><i>Possibilité de réponses multiples</i></p> <p><input type="checkbox"/> Médecin</p> <p><input type="checkbox"/> Diététicien</p> <p><input type="checkbox"/> Kinésithérapeute / Ostéopathe</p> <p><input type="checkbox"/> Pharmacien</p> <p><input type="checkbox"/> Entraîneur du club</p> <p><input type="checkbox"/> Personnel de votre salle de sport / Association</p> <p><input type="checkbox"/> Personnel d'un magasin spécialisé en compléments alimentaire pour sportifs</p> <p><input type="checkbox"/> Entourage</p> <p><input type="checkbox"/> Publicité</p> <p><input type="checkbox"/> Internet</p> <p>12. Où vous êtes-vous procuré ces compléments ?</p> <p><i>Possibilité de réponses multiples</i></p> <p><input type="checkbox"/> Pharmacie</p> <p><input type="checkbox"/> Salle de sport</p> <p><input type="checkbox"/> Magasin spécialisé</p> <p><input type="checkbox"/> Magasin non spécialisé (type supermarché, magasin de sport)</p> <p><input type="checkbox"/> Internet</p> |

MARTINEZ Camille

Thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmacie

Université de Picardie Jules Verne

2017

Mots clés : Nutrition, compléments alimentaires, fiches conseils, sportif, place du pharmacien, enquête

Résumé :

Face à une diversité croissante de produits destinés aux sportifs arrivant sur le marché et des moyens de communication de plus en plus rapides, il paraît légitime de faire un état des lieux sur la consommation réelle des différents types de compléments alimentaires, corrélée à l'état des connaissances actuelles. Cette thèse s'intéressera donc dans un premier temps à reprendre les bases de physiologie nécessaires à la bonne compréhension des processus biochimiques mis en jeu dans le cadre de l'effort. Ces éléments permettront de mieux appréhender le rôle et l'importance des différents nutriments dans ces voies métaboliques ainsi que le moyen d'optimiser l'alimentation en fonction du type d'effort recherché. Le positionnement des molécules contenues dans les compléments alimentaires destinés aux sportifs dans le but d'améliorer la performance et/ou la récupération (carnitine, acides aminés à chaîne ramifiées, protéines du petit-lait, caféine etc.) sera ensuite abordé en relevant que la plupart des études ne retrouve pas d'effet significatif. Enfin, la place actuelle qu'occupe le pharmacien dans le conseil et la vente de ces compléments alimentaires à destination de la population sportive sera envisagée au travers d'une enquête menée auprès de sportifs de la région amiénoise, montrant la nécessité pour la profession de promouvoir le circuit de distribution officinal, gage de sérieux dans les connaissances et de sécurité des produits.

Jury

Président : Catherine MULLIÉ-DEMAILLY, Maître de conférences

Membres : Annabelle FRANÇOIS, docteur en pharmacie

Domitille CHEVALIER, docteur en pharmacie