

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON 1
FACULTE DE PHARMACIE
INSTITUT DES SCIENCES PHARMACEUTIQUES ET BIOLOGIQUES

2018

THESE n°67

T H E S E

pour le DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE
présentée et soutenue publiquement le 27 juin 2018 par

M FEKIR Younes

Né le 13 Octobre 1993 à Lyon

**Nutrition et consommation de compléments alimentaires en musculation : les
risques de dérives possibles et le rôle du pharmacien d'officine pour les éviter.**

JURY

Dr. GOUDABLE Joëlle – Professeur des Universités et Praticien Hospitalier

Dr. CARTIER Jérôme – Pharmacien titulaire en Officine

Dr. ASSENDAL Abdallah – Pharmacien adjoint en Officine

Dr. HACHICHI Ruchdi – Médecin Généraliste et Médecin du Sport

*« Ce que nous pensons et ce que nous mangeons, combinés ensemble,
fabriquent ce que nous sommes, tant physiquement que mentalement. »*

Hippocrate

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1

- | | |
|---|--------------------|
| • Président de l'Université | Frédéric FLEURY |
| • Présidence du Conseil Académique | Hamda BEN HADID |
| • Vice-Président du Conseil d'Administration | Didier REVEL |
| • Vice-Président de la Commission Recherche | Fabrice VALLEE |
| • Vice-Président de la Formation et de la Vie Universitaire | Philippe CHEVALIER |

Composantes de l'Université Claude Bernard Lyon 1

SANTE

- | | |
|---|------------------------------------|
| • UFR de Médecine Lyon Est | Directeur : Gilles RODE |
| • UFR de Médecine Lyon Sud Charles Mérieux | Directrice : Carole BURILLON |
| • Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques | Directrice : Christine VINCIGUERRA |
| • UFR d'Odontologie | Directrice : Dominique SEUX |
| • Institut des Sciences et Techniques de Réadaptation (ISTR) | Directeur : Xavier PERROT |
| • Département de formation et centre de recherche en Biologie Humaine | Directrice : Anne-Marie SCHOTT |

SCIENCES ET TECHNOLOGIES

- | | |
|--|----------------------------------|
| • Faculté des Sciences et Technologies | Directeur : M. Fabien DE MARCHI |
| • UFR de Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (STAPS) | Directeur : M. Yannick VANPOULLE |
| • Polytech Lyon | Directeur : M. Emmanuel PERRIN |
| • I.U.T. LYON 1 | Directeur : M. Christophe VITON |
| • Institut des Sciences Financières et d'Assurance (ISFA) | Directeur : M. Nicolas LEBOISNE |
| • ESPE | Directeur : M. Alain MOUGNIOTTE |
| • Observatoire des Sciences de l'Univers | Directrice : Mme Isabelle DANIEL |

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1

ISPB -Faculté de Pharmacie Lyon

LISTE DES DEPARTEMENTS PEDAGOGIQUES

DEPARTEMENT PEDAGOGIQUE DE SCIENCES PHYSICO-CHIMIQUE ET PHARMACIE GALENIQUE

- **CHIMIE ANALYTIQUE, GENERALE, PHYSIQUE ET MINERALE**

Monsieur Raphaël TERREUX (Pr)
Madame Julie-Anne CHEMELLE (MCU)
Madame Anne DENUZIERE (MCU)
Monsieur Lars-Petter JORDHEIM (MCU-HDR)
Madame Christelle MACHON (MCU-PH)
Monsieur Waël ZEINYEH (MCU)

- **PHARMACIE GALENIQUE -COSMETOLOGIE**

Madame Marie-Alexandrine BOLZINGER (Pr)
Madame Stéphanie BRIANCON (Pr)
Madame Françoise FALSON (Pr)
Monsieur Hatem FESSI (Pr)
Monsieur Fabrice PIROT (PU - PH)
Monsieur Eyad AL MOUAZEN (MCU)
Madame Sandrine BOURGEOIS (MCU)
Madame Ghania HAMDI-DEGOBERT (MCU-HDR)
Monsieur Plamen KIRILOV (MCU)
Madame Giovanna LOLLO (MCU)
Madame Jacqueline RESENDE DE AZEVEDO (MCU)
Monsieur Damien SALMON (MCU-PH)

- **BIOPHYSIQUE**

Madame Laurence HEINRICH (MCU)
Monsieur David KRYZA (MCU-PH-HDR)
Madame Sophie LANCELOT (MCU - PH)
Monsieur Cyril PAILLER-MATTEI (Pr)
Madame Elise LEVIGOUREUX (AHU)

DEPARTEMENT PEDAGOGIQUE PHARMACEUTIQUE DE SANTE PUBLIQUE

- **DROIT DE LA SANTE**

Monsieur François LOCHER (PU – PH)

Madame Valérie SIRANYAN (MCU - HDR)

- **ECONOMIE DE LA SANTE**

Madame Nora FERDJAOUI MOUMJID (MCU - HDR)

Madame Carole SIANI (MCU – HDR)

Monsieur Hans-Martin SPÄTH (MCU)

- **INFORMATION ET DOCUMENTATION**

Monsieur Pascal BADOR (MCU - HDR)

- **HYGIENE, NUTRITION, HYDROLOGIE ET ENVIRONNEMENT**

Madame Joëlle GOUDABLE (PU – PH)

- **INGENIERIE APPLIQUEE A LA SANTE ET DISPOSITIFS MEDICAUX**

Monsieur Gilles AULAGNER (PU – PH)

Madame Claire GAILLARD (MCU)

- **QUALITOLOGIE – MANAGEMENT DE LA QUALITE**

Madame Alexandra CLAYER-MONTEMBault (MCU)

Monsieur Serge MICHALET (MCU)

- **MATHEMATIQUES – STATISTIQUES**

Madame Claire BARDEL-DANJEAN (MCU-PH-HDR)

Madame Marie-Aimée DRONNE (MCU)

Madame Marie-Paule GUSTIN (MCU - HDR)

- **CHIMIE ORGANIQUE**

Monsieur Pascal NEBOIS (Pr)
Madame Nadia WALCHSHOFER (Pr)
Monsieur Zouhair BOUAZIZ (MCU - HDR)
Madame Christelle MARMINON (MCU)
Madame Sylvie RADIX (MCU -HDR)
Monsieur Luc ROCHEBLAVE (MCU - HDR)

- **CHIMIE THERAPEUTIQUE**

Monsieur Marc LEBORGNE (Pr)
Monsieur Thierry LOMBERGET (Pr)
Monsieur Laurent ETTOUATI (MCU - HDR)
Madame Marie-Emmanuelle MILLION (MCU)

- **BOTANIQUE ET PHARMACOGNOSIE**

Madame Marie-Geneviève DIJOUX-FRANCA (Pr)
Madame Anne-Emmanuelle HAY DE BETTIGNIES (MCU)
Madame Isabelle KERZAON (MCU)
Monsieur Serge MICHALET (MCU)

- **PHARMACIE CLINIQUE, PHARMACOCINETIQUE ET EVALUATION DU MEDICAMENT**

Madame Roselyne BOULIEU (PU – PH)
Madame Catherine RIOUFOL (PU- PH)
Madame Magali BOLON-LARGER (MCU - PH)
Madame Christelle CHAUDRAY-MOUCHOUX (MCU-PH)
Madame Céline PRUNET-SPANO (MCU)
Madame Florence RANCHON (MCU-PH)
Monsieur Teddy NOVAIS (AHU)

DEPARTEMENT PEDAGOGIQUE DE PHARMACOLOGIE, PHYSIOLOGIE ET TOXICOLOGIE

- **TOXICOLOGIE**

Monsieur Jérôme GUITTON (PU – PH)

Madame Léa PAYEN (PU-PH)

Monsieur Bruno FOUILLET (MCU)

Monsieur Sylvain GOUTELLE (MCU-PH-HDR)

- **PHYSIOLOGIE**

Monsieur Christian BARRES (Pr)

Madame Kiao Ling LIU (MCU)

Monsieur Ming LO (MCU - HDR)

- **PHARMACOLOGIE**

Monsieur Michel TOD (PU – PH)

Monsieur Luc ZIMMER (PU – PH)

Monsieur Roger BESANCON (MCU)

Monsieur Laurent BOURGUIGNON (MCU-PH)

Madame Evelyne CHANUT (MCU)

Monsieur Nicola KUCZEWSKI (MCU)

Madame Dominique MARCEL CHATELAIN (MCU-HDR)

- **COMMUNICATION**

Monsieur Ronald GUILLOUX (MCU)

- **ENSEIGNANTS ASSOCIES TEMPORAIRES**

Monsieur Olivier CATALA (Pr-PAST)

Madame Mélanie THUDEROZ (MCU-PAST)

DEPARTEMENT PEDAGOGIQUE DES SCIENCES BIOMEDICALES A

- **IMMUNOLOGIE**

Monsieur Guillaume MONNERET (PU-PH)

Monsieur Sébastien VIEL (MCU-PH)

Madame Morgane GOSSEZ (AHU)

- **HEMATOLOGIE ET CYTOLOGIE**

Madame Christine VINCIGUERRA (PU - PH)

Madame Brigitte DURAND (MCU - PH)

Madame Sarah HUET (AHU)

Monsieur Yohann JOURDY (AHU)

- **MICROBIOLOGIE ET MYCOLOGIE FONDAMENTALE ET APPLIQUEE AUX BIOTECHNOLOGIES INDUSTRIELLES**

Monsieur Patrick BOIRON (Pr)

Monsieur Frédéric LAURENT (PU-PH-HDR)

Madame Florence MORFIN (PU – PH)

Monsieur Didier BLAHA (MCU)

Madame Ghislaine DESCOURS (MCU-PH)

Madame Anne DOLEANS JORDHEIM (MCU-PH)

Madame Emilie FROBERT (MCU - PH)

Madame Véronica RODRIGUEZ-NAVA (MCU-HDR)

- **PARASITOLOGIE, MYCOLOGIE MEDICALE**

Monsieur Philippe LAWTON (Pr)

Madame Nathalie ALLIOLI (MCU)

Madame Samira AZZOUZ-MAACHE (MCU - HDR)

DEPARTEMENT PEDAGOGIQUE DES SCIENCES BIOMEDICALES B

- **BIOCHIMIE – BIOLOGIE MOLECULAIRE - BIOTECHNOLOGIE**

Madame Pascale COHEN (Pr)

Madame Caroline MOYRET-LALLE (Pr)

Monsieur Alain PUISIEUX (PU - PH)

Madame Emilie BLOND (MCU-PH)

Monsieur Karim CHIKH (MCU - PH)

Madame Carole FERRARO-PEYRET (MCU - PH-HDR)

Monsieur Boyan GRIGOROV (MCU)

Monsieur Hubert LINCET (MCU-HDR)

Monsieur Olivier MEURETTE (MCU)

Madame Angélique MULARONI (MCU)

Madame Stéphanie SENTIS (MCU) Monsieur Anthony FOURIER (AHU)

- **BIOLOGIE CELLULAIRE**

Madame Bénédicte COUPAT-GOUTALAND (MCU)

Monsieur Michel PELANDAKIS (MCU - HDR)

- **INSTITUT DE PHARMACIE INDUSTRIELLE DE LYON**

Madame Marie-Alexandrine BOLZINGER (Pr) *

Monsieur Philippe LAWTON (Pr)

Madame Sandrine BOURGEOIS (MCU)

Madame Marie-Emmanuelle MILLION (MCU)

Madame Alexandra MONTEMBault (MCU)

Madame Angélique MULARONI (MCU)

Madame Marie-Françoise KLUCKER (MCU-PAST)

Madame Valérie VOIRON (MCU-PAST)

- **Assistants hospitalo-universitaires sur plusieurs départements pédagogiques (AHU)**

Monsieur Alexandre JANIN

- **Attachés Temporaires d'Enseignement et de Recherche (ATER)**

Madame Camille ROZIER

Pr : Professeur

PU-PH : Professeur des Universités, Praticien Hospitalier

MCU : Maître de Conférences des Universités

MCU-PH : Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier

HDR : Habilitation à Diriger des Recherches

AHU : Assistant Hospitalier Universitaire

PAST : Personnel Associé Temps Partiel

REMERCIEMENTS

A Madame Joëlle GOUDABLE, directrice de thèse et présidente du jury,

Merci de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de cette thèse, d'avoir accepté la rédaction de ce sujet et merci de m'avoir accordé votre confiance quant à la réalisation de cette thèse en un délai assez court.

Merci pour votre accueil, votre réactivité et votre disponibilité à tout instant, merci de m'avoir accompagné tout au long de l'écriture grâce à vos remarques et corrections qui ont permis d'améliorer ce travail final.

Veuillez trouver ici l'expression de mes sincères remerciements et de mon profond respect.

A Monsieur Jérôme CARTIER,

Merci de m'avoir fait l'honneur d'accepter d'être membre de mon jury et de l'intérêt que vous portez au sujet. Merci de m'avoir permis de travailler à vos côtés durant toutes ces années, de la deuxième année à la sixième année ; merci de m'avoir accompagné et formé tout au long de ce parcours : grâce à vous j'ai beaucoup appris. Merci pour vos conseils avisés, votre expérience, votre amitié à mon égard et votre confiance que vous m'accordez tous les jours. Aujourd'hui encore j'ai beaucoup à apprendre de vous.

Veuillez trouver ici l'expression de ma gratitude et de mes sincères remerciements pour tout ce que vous avez fait pour moi.

A Monsieur Abdallah ASSENDAL,

Merci d'avoir accepté de faire partie du jury de cette thèse et pour l'intérêt que vous portez au sujet, merci pour vos remarques et idées dans l'amélioration de ce travail. Veuillez, mon ami, recevoir l'expression de mes remerciements.

A Monsieur Ruchdi HACHICHI,

Merci d'avoir accepté d'être membre du jury et de l'intérêt que vous portez au sujet, merci de votre accueil, de votre disponibilité et de vos encouragements à mon égard. Veuillez recevoir ici l'expression de ma gratitude et de mon profond respect.

A mes parents,

Merci pour tout ce que vous avez fait pour nous, pour votre dévouement et votre sacrifice à notre égard. Merci d'avoir été là et de m'avoir soutenu malgré la distance durant toutes ces années. Merci Yam, merci Baba, vous êtes les piliers de ce que nous sommes aujourd'hui, et même si on peine à vous le dire parfois, sans vous nous sommes perdus. Tous mes remerciements ne sont pas assez pour tout ce que vous nous avez apporté.

A ma sœur Emna,

Merci à toi grande sœur pour ton accompagnement et tes encouragements durant toutes ces années, ces quelques mots ne suffisent pas pour te décrire mais je profite de ce passage pour te remercier et exprimer ici toute ma gratitude pour ce que tu as fait pour moi ; tout simplement merci.

A mon frère Youcef,

A toi mon jumeau, mon bras droit, mon confident, merci de m'avoir soutenu à ta façon et de m'avoir encouragé, merci d'avoir été là lorsque j'en avais besoin. Merci pour tous ces moments partagés, ces éclats de rire et nos délires propres à nous... et que la suite nous réserve de belles choses si Dieu le veut.

A mes petits frères Idriss, Ahmed et Ibrahim,

A mes « petits » frères Idriss et Ahmed, vous avez très et trop vite grandi... Merci d'avoir été là pour rythmer ces années avec nos délires et vos éclats de rire. De belles choses arrivent pour vous, soyez à la hauteur des attentes que l'on porte sur vous et comme vous aimez à le dire « ikzoo teme ». A Ibrahim, toi le petit dernier merci pour tes appels incessants et tes « snaps » que tu m'envoies et qui m'ont encouragé ; bientôt arrive le tour de moto les petits !

A ma famille, la famille HANNACHI, REGUIGUI, et BENYAHIA,

Merci d'avoir été là et de m'avoir soutenu, encouragé et aidé lorsque j'en avais besoin, merci pour vos invitations et tout ce que vous avez fait pour nous.

Merci à vous Azza et Lakdhar pour tout ce que vous avez fait, c'est en partie grâce à vous que j'en suis là aujourd'hui.

A Yaniss et Tamime,

Merci mes frères d'avoir été là durant toutes ces années, de la P1 jusqu'à maintenant. Entre nos révisions nocturnes et sans fin jusqu'à nos pauses et parties de foot également sans fin ; ces moments de galère et de joie partagés, vous avez rendu ces années plus agréables et plus courtes, sans vous je ne serais pas allé très loin. J'espère que notre amitié restera toujours aussi forte.

A Mossab, Samir, Bilel et Abdallah,

Peu de mots pour décrire tout ce que je pense de vous mes frères, je vous remercie d'abord de m'avoir aidé, encouragé et parfois supporté quand il le fallait. De l'Espagne à Lyon en passant par Montpellier et l'Egypte, toutes ces aventures à vos côtés ont égayé ces sept longues années de pharmacie. Toutes ces soirées passées ensemble à refaire le monde, à se projeter, à rigoler entre nous, nos disputes parfois même, restent gravées dans mon esprit, je sais que ceci n'est que le début et que la route ensemble n'est pas finie, je vous dis tout simplement merci.

Abdallah, mon frère et confident, nos aventures passées ensemble depuis la P1 jusqu'à aujourd'hui mériteraient d'être écrites tellement il y en a eu, ces quelques mots ne suffisent pas pour exprimer mon remerciement pour ton soutien sans faille et ton aide. Je sais que nos chemins resteront toujours proches, et que nos projets seront à la hauteur de nos espérances. Une pensée pour Amira, je suis très heureux pour vous deux.

Une dédicace à toi Bilel pour ton aide et ton implication pour cette thèse les derniers jours, sans toi je n'aurais pas pu aller aussi vite.

A toute l'équipe de Laënnec,

Assad, Driss, Benou, Mounir, Nawfel, Djalyss, Pocket, Zak, Yaniss B, Nadir, Atmane, Omid, Rima, Soukaïna, Toufik, Liamine, Moudjo et tous les autres ; merci d'avoir été à mes côtés durant toutes ces années et pour tous ces moments partagés ensemble, des révisions à Obj aux futsal du jeudi en passant par Wide ! Merci à vous et je vous souhaite plein de bonnes choses pour la suite.

Une pensée à tous ceux que je n'ai pas nommé mais le cœur y est !

A Emir,

Une pensée à mon Roumain préféré, malgré la distance on n'oublie pas !

A Zaid,

Mon frerot, mon acolyte de P1, on en a passé des nuits à réviser et rigoler ensemble, toutes ces heures passées au téléphone, ces foots ... tu fais partie de la famille et le meilleur reste à venir ! Je te remercie pour tout mon ami.

A Sofiane,

Sans toi, ce travail n'aurait pas été aussi rapide, merci pour tes conseils, tes remarques, ces délires chez Tat's et tout le reste frerot.

A Clem, Nini, Audrey, Sara, Matthieu et tout le groupe 6,

Une pensée à vous tous qui m'avez accompagné durant toutes ces années, on aura bien rigolé tous ensemble, je vous remercie pour ces moments partagés.

A Mac, Tiff, Laurine, les Romain, Pierrot, Nico et tous mes amis d'officine,

Merci à vous pour tous ces moments partagés, des soirées champignons aux soirées révisions, merci pour tout : ces années d'officine n'en sont devenues que plus belles grâce à vous (merci tiff' pour les droits d'auteur !). Une dédicace à RP mon frerot, toi-même tu sais.

A toute l'équipe de la Pharmacie Porte des Alpes,

De la deuxième année à la dernière année, vous m'avez vu grandir et évoluer dans cette pharmacie ; merci de m'avoir aussi bien accueilli et intégré dans votre équipe, merci pour votre gentillesse à mon égard et tout ce que vous m'avez appris depuis et encore aujourd'hui. C'est un plaisir de travailler avec vous chaque jour à vos côtés.

Une mention spéciale à Christine B. pour son aide et son implication dans ma thèse.

A Stéphane et la famille FORESTIER,

Je ne pouvais pas conclure sans avoir une pensée pour toi mon ami, mon acolyte et binôme de pharmacie. Ton départ m'a marqué et nous a tous marqué, tu es parti trop vite ; je garde de nous d'innombrables souvenirs de ces années ensemble et comme tu le disais « RPZ mon frère ».

Une pensée pour la famille FORESTIER.

Table des matières :

REMERCIEMENTS	12
Liste des abréviations.....	22
Table des figures	24
Table des tableaux :	25
INTRODUCTION	26
1 NUTRITION DU SPORTIF :	29
1.1 Sport et énergie :	29
1.1.1 Le sportif.....	30
1.1.1.1 Définition.....	30
1.1.1.2 Bénéfices	31
1.1.2 Le muscle	34
1.1.2.1 Le tissu musculaire	34
1.1.2.1.1 Classification des muscles	34
1.1.2.1.2 Le muscle squelettique	34
1.1.2.1.2.1 Présentation	34
1.1.2.1.2.2 Classification du muscle strié	36
1.1.2.1.2.2.1 Fibres musculaires de type I.....	36
1.1.2.1.2.2.2 Fibres musculaires de type IIa	36
1.1.2.1.2.2.3 Fibres musculaires de type IIb.....	36
1.1.2.1.2.3 Durant l'effort	37
1.1.2.2 En musculation	39
1.1.2.2.1 Exercices polyarticulaires	39
1.1.2.2.2 Exercices d'isolation	40
1.1.2.2.3 Différentes sollicitations	41
1.1.2.2.3.1 Mouvement isocentrique.....	41
1.1.2.2.3.1.1 Principe	41
1.1.2.2.3.1.2 Avantages.....	41
1.1.2.2.3.1.3 Inconvénients	41
1.1.2.2.3.2 Mouvement concentrique	42
1.1.2.2.3.2.1 Principe	42
1.1.2.2.3.2.2 Avantages.....	42
1.1.2.2.3.2.3 Inconvénients	42
1.1.2.2.3.3 Mouvement excentrique	42
1.1.2.2.3.3.1 Principe	42
1.1.2.2.3.3.2 Avantages.....	43

1.1.2.2.3.3.3	Inconvénients.....	43
1.1.3	L'ATP, réservoir énergétique.....	44
1.1.3.1	Définition.....	44
1.1.3.2	Rôle.....	44
1.1.3.3	Régulation	45
1.1.4	Les voies de formation de l'ATP	45
1.1.4.1	Voie Anaérobie Alactique.....	45
1.1.4.2	Voie Anaérobie Lactique	46
1.1.4.3	Voie Aérobie Alactique.....	46
1.2	Les macronutriments comme source d'énergie	47
1.2.1	Les glucides.....	47
1.2.1.1	Présentation	47
1.2.1.2	Classification.....	47
1.2.1.2.1	Glucides simples.....	48
1.2.1.2.2	Glucides complexes.....	48
1.2.1.2.3	L'index glycémique :.....	49
1.2.1.3	Rôles	51
1.2.1.4	Sources de glucides	52
1.2.1.5	Apports et besoins en glucides	53
1.2.1.5.1	Dans la population générale	53
1.2.1.5.2	Chez le sportif.....	53
1.2.1.6	Régulation	54
1.2.1.7	Métabolisme	54
1.2.1.7.1	Catabolisme glucidique	55
1.2.1.7.1.1	La glycolyse	55
1.2.1.7.1.1.1	Les différentes étapes.....	55
1.2.1.7.1.1.2	Bilan énergétique.....	55
1.2.1.7.1.1.3	Régulation de la glycolyse.....	57
1.2.1.7.1.2	Métabolisme du pyruvate.....	57
1.2.1.7.1.3	Cycle de Krebs	57
1.2.1.7.2	Bilan énergétique du catabolisme glucidique.....	59
1.2.1.7.3	Réserve glucidique	59
1.2.1.7.3.1	Glycogénogenèse	59
1.2.1.7.3.2	Glycogénolyse	59
1.2.1.7.3.3	Régulation du métabolisme	59
1.2.1.7.4	Anabolisme glucidique	60
1.2.1.7.4.1	La néoglucogenèse.....	60

1.2.2	Les lipides	61
1.2.2.1	Présentation	61
1.2.2.2	Classification et structure des lipides.....	61
1.2.2.3	Rôles	62
1.2.2.4	Sources	64
1.2.2.5	Métabolisme des lipides	64
1.2.2.5.1	Lipolyse.....	64
1.2.2.5.2	Lipogenèse	65
1.2.2.5.3	Catabolisme des lipides.....	65
1.2.2.6	Régulation du métabolisme lipidique	66
1.2.2.7	Apports et besoins en lipides	67
1.2.2.7.1	Dans la population générale :	67
1.2.2.7.2	Chez le sportif :.....	67
1.2.2.8	Interrelation glucides-lipides et activité physique	68
1.2.3	Les protéines	71
1.2.3.1	Présentation	71
1.2.3.2	Rôles	71
1.2.3.3	Régulation	72
1.2.3.3.1	Hormones anabolisantes	72
1.2.3.3.1.1	L'insuline	72
1.2.3.3.1.2	L'Hormone de croissance.....	72
1.2.3.3.1.3	Les Catécholamines.....	73
1.2.3.3.2	Hormones catabolisantes.....	73
1.2.3.3.2.1	Les Glucocorticoïdes	73
1.2.3.3.2.2	Le Glucagon.....	73
1.2.3.4	Métabolisme des protéines.....	73
1.2.3.4.1	Néoglucogenèse :.....	75
1.2.3.4.1.1	Relation lactate-pyruvate.....	75
1.2.3.4.1.2	Le cycle alanine-glucose.....	76
1.2.3.4.1.3	Le glycérol	77
1.2.3.4.2	Cétogenèse :.....	77
1.2.3.5	Protéines et activité physique.....	78
1.2.3.6	Apports et besoins en protéines	79
1.2.3.6.1	Dans la population générale	79
1.2.3.6.2	Chez le sportif.....	79
1.2.3.7	Sources	79
1.3	Nutrition et musculation	80

1.3.1	Diététique de l'entraînement.....	80
1.3.1.1	Avant entraînement	80
1.3.1.2	Pendant entraînement.....	82
1.3.1.3	Après entraînement	84
1.3.2	Prise de masse.....	85
1.3.2.1	Définition.....	85
1.3.2.2	Intérêts	85
1.3.2.3	En pratique	86
1.3.3	Phase de « Sèche ».....	87
1.3.3.1	Définition.....	87
1.3.3.2	Intérêts	87
1.3.3.3	En pratique	88
1.3.4	Maintenance	89
1.3.4.1	Définition.....	89
1.3.4.2	Intérêts	89
1.3.4.3	En pratique	89
2	LES RISQUES DE DERIVES EN MUSCULATION :.....	91
2.1	Utilisation de protéines à haute dose	91
2.1.1	Rappels	91
2.1.2	Les risques pour la santé.....	92
2.1.2.1	A court terme	92
2.1.2.2	A long terme	95
2.2	Les Compléments Alimentaires utilisés en musculation.....	97
2.2.1	Le complément alimentaire	97
2.2.1.1	Définition.....	97
2.2.1.1.1	Objectif.....	97
2.2.1.1.2	Composition	98
2.2.1.1.3	Présentation.....	98
2.2.1.2	Encadrement	98
2.2.1.3	Engagement qualité	99
2.2.1.4	Nutrivigilance	99
2.2.2	Les poudres de protéines	99
2.2.2.1	Gainer	100
2.2.2.2	Whey	100
2.2.2.3	Isolat.....	101
2.2.2.4	Caséine	102
2.2.2.5	Les protéines végétales	102

2.2.3	Les BCAA.....	103
2.2.3.1	Présentation des différents acides aminés	103
2.2.3.1.1	Les acides aminés essentiels	104
2.2.3.1.2	Les acides aminés non essentiels.....	105
2.2.3.2	Supplémentation en BCAA	111
2.2.3.2.1	Intérêts	111
2.2.3.2.2	Rôles.....	111
2.2.3.2.3	Lesquels.....	113
2.2.4	Les compléments alimentaires enrichis en lipides.....	114
2.2.4.1	Rappels	114
2.2.4.2	Intérêts	117
2.2.5	La Créatine.....	118
2.2.5.1	Présentation	118
2.2.5.2	La créatine dans l'organisme.....	119
2.2.5.3	Effets d'une supplémentation en créatine.....	121
2.2.5.4	Les différentes créatines	122
2.2.5.5	La créatine chez le sportif	123
2.2.5.6	Usage de la créatine	124
2.2.5.7	Effets Indésirables de la créatine	125
2.2.6	Vitamines et minéraux	127
2.2.6.1	Les vitamines	127
2.2.6.2	Les minéraux	128
2.2.6.3	Les oligoéléments.....	129
2.2.7	Autres compléments alimentaires	130
2.2.7.1	Brûleurs de graisse	130
2.2.7.1.1	CLA.....	130
2.2.7.1.2	L-Carnitine :	132
2.2.7.1.3	Caféine	133
2.2.7.2	Testostérone et compléments alimentaires	135
2.2.7.2.1	Le « ZMA » : Zinc et Magnésium	135
2.2.7.2.2	Le Tribulus	135
2.3	Le risque de dopage	136
2.3.1	Le dopage	136
2.3.1.1	Définition.....	136
2.3.1.2	Règlementation	137
2.3.2	Dans les compléments alimentaires	139
2.3.2.1	Cas de substances dopantes	139

2.3.2.2	L'achat de compléments alimentaires	140
2.3.3	Au comptoir.....	141
2.3.4	Risques pour la santé	142
3	EN OFFICINE :	145
3.1	Que faire face à une demande spontanée.....	145
3.1.1	Estimer le besoin de la personne	145
3.1.1.1	L'IMC.....	145
3.1.1.2	Les morphotypes.....	146
3.1.1.3	Le calcul calorique	150
3.1.1.4	Besoin d'un complément alimentaire ?	155
3.1.2	Orienter sur le bon CA.....	157
3.1.3	Conseils aux sportifs.....	158
3.2	Promouvoir une bonne utilisation des compléments alimentaires.....	160
3.3	Prévention de la santé	161
	CONCLUSION.....	163
	BIBLIOGRAPHIE.....	166

Liste des abréviations

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PNNS : Programme National Nutrition Santé

HAS : Haute Autorité de Santé

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

HDL : High Density Lipoprotein

LDL : Low Density Lipoprotein

APS : Activité physique et sportive

ATP : Adénosine TriPhosphate

ADP : Adénosine DiPhosphate

CA : Complément Alimentaire

IG : Index Glycémique

ADN : Acide DésoxyriboNucléique

ARN : Acide RiboNucléique

AET : Apport Energétique Total

AFSSA : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (*devenue ANSES depuis*)

NADH : Nicotinamide adénine dinucléotide (*forme réduite*)

AcoA : Acétyl-Coenzyme-A

AA: Acide(s) Aminé(s)

PPG : Phosphoglycérides

TG : Triglycérides

AG : Acides Gras

AGS : Acides Gras Saturés

AGMI : Acides Gras Mono-Insaturés

AGPI : Acides Gras Poly-Insaturés

ANC : Apport(s) Nutritionnel(s) Conseillé(s)

DET : Dépense Energétique Totale

DFG : Débit de Filtration Glomérulaire

DGCCRF : Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes

AFNOR : Association française de normalisation

BCAA: Branched-Chain Amino-Acids

NM/NT: Neuromédiateur / Neurotransmetteur

GABA : Acide γ -aminobutyrique

Ach : Acétylcholine

Pg : Prostaglandines

Cr /PCr : Créatine / Phosphocréatine

CNOSF : Comité National Olympique et Sportif Français

CIO : Comité International Olympique

CLA : Acide Linoléique Conjugué

EFSA : European Food Safety Authority

AMA : Agence Mondiale Antidopage

ASE : Agents Stimulants de l'Erythropoïèse

EPO : Erythropoïétine

SAA : Stéroïdes Androgènes Anabolisants

THC : TétraHydroCannabinol

DMAA : 1,3-diméthylamylamine

2,4-DNP : 2,4-dinitrophénol

FFHMFAC : Fédération Française d'Haltérophilie, Musculation, Force Athlétique et Culturisme

SFMES : Société Française de Médecine de l'Exercice et du Sport

SFNS : Société Française de Nutrition du Sport

CESPHARM : Comité d'éducation sanitaire et sociale de la pharmacie française

MILDECA : Mission Interministérielle de Lutte contre les Drogues Et les Conduites Addictives

AMPD : Antenne Médicale Prévention Dopage

Table des figures

Figure 1-Les différents niveaux de la pratique physique et sportive (2).....	29
Figure 2-Pyramide de l'exercice : activité physique et sportive (5)	30
Figure 3- Anatomie du muscle strié squelettique (17).....	35
Figure 4-Sarcomère & filaments (22)	38
Figure 5-Contraction musculaire par glissement (22).....	39
Figure 6-Structure de l'ATP et de l'ADP (24)	44
Figure 7-Contribution relative des 3 sources énergétiques (22)	47
Figure 8-Monosaccharides : structure du glucose, galactose et fructose (9)	48
Figure 9-Index Glycémique de quelques aliments (30).....	50
Figure 10-La glycolyse anaérobie (37).....	56
Figure 11-Le cycle de Krebs (37)	58
Figure 12-Structure d'un acide gras (27).....	61
Figure 13-Propriétés physicochimiques d'un AG (28).....	62
Figure 14-Dépense énergétique & intensité de l'exercice (22).....	69
Figure 15-Dépense énergétique & durée de l'exercice (22)	69
Figure 16-Dépense énergétique & entraînement (22)	70
Figure 17-Crossover concept (22)	70
Figure 18-Schéma général du métabolisme protéique chez l'homme (52).....	74
Figure 19-Métabolisme des lactates (22).....	75
Figure 20-Oxydation des acides aminés au niveau hépatique (25)	77
Figure 21-Structures chimiques des acides aminés (49).....	110
Figure 22-Apport en AA ramifiés et effets potentiels attendus (25)	113
Figure 23-Carnitine et métabolisme des acides gras (27)	132
Figure 24-Caféine et autres bases xanthiques (100).....	133
Figure 25-Classification de l'IMC (157).....	145
Figure 26-Les différents morphotypes (160).....	148
Figure 27-Apport calorique des macronutriments (55)	153
Figure 28-Représentation de l'équilibre énergétique de l'organisme (55).....	153
Figure 29-Proportion des sujets pratiquant ou ayant pratiqué un régime dans l'année (157)	154

Table des tableaux :

Tableau 1- Classification des fibres musculaires squelettiques (22).....	37
Tableau 2-Classification des Glucides (30)	49
Tableau 3-Index glycémique de quelques aliments et ingrédients glucidiques (31)	51
Tableau 4-Quantité de glucides dans différents aliments (33)	52
Tableau 5-Composition en lipides de quelques huiles végétales (en %) (32)	64
Tableau 6-Description du stock énergétique d'un individu « standard » (25).....	68
Tableau 7-Objectifs indicatifs d'alimentation avant effort (38).....	82
Tableau 8-Suggestions d'alimentation pendant un effort (38)	84
Tableau 9-Exemple de répartition type à adapter en période de prise de masse (24)	87
Tableau 10-Exemple de répartition type à adapter en période de sèche (24)	89
Tableau 11-Exemple de répartition type à adapter en période de maintenance (24)	90
Tableau 12-L'indice PRAL (58)	93
Tableau 13-Indice PRAL de quelques aliments (58)	94
Tableau 14-Rôles des acides gras $\omega 3$ et $\omega 6$ sur l'organisme (39)	116
Tableau 15-Propriétés générales des Vitamines (9)	128
Tableau 16-Propriétés générales des sels minéraux et oligoéléments (9)	129
Tableau 17-Effets du CLA sur l'organisme (9)	131
Tableau 18-Calcul théorique de la Dépense Energétique Totale (36)	152
Tableau 19-Estimer le besoin de compléments alimentaire (9)	156

INTRODUCTION

La pratique de la musculation, dont le but est l'amélioration des qualités musculaires, est aujourd'hui pratiquée par un grand nombre de personnes en raison notamment des réseaux sociaux où la culture du « corps parfait » est prônée par ces personnes « influenceurs ».

Cette activité est à la base de la pratique du culturisme, de la force athlétique ou de l'haltérophilie mais également présente dans la préparation physique de nombreux sports (athlétisme, football etc.). Le développement de la masse musculaire et la diminution de la masse grasse sont des objectifs poursuivis par des millions de personnes. De ce fait, la musculation à visée esthétique est un des principaux objectifs de la pratique de ce sport sans compter les nombreux bienfaits pour la santé.

Ainsi, de nombreux sportifs de tout âge, de tous niveaux et souhaitant participer à une manifestation sportive peuvent avoir recours à des compléments alimentaires afin d'améliorer leurs performances physiques.

Cette pratique, culturelle dans ces milieux de sports de force, est de plus en plus répandue parmi le grand public et s'est banalisée, parfois même chez les plus jeunes pratiquants : ceci est en adéquation avec le marché des compléments alimentaires en France qui a progressé de 6,4 % en 2014, l'officine étant le circuit de distribution privilégié (51 % des ventes totales). D'autres circuits peuvent cependant prédominer tels que les magasins spécialisés et la vente sur internet.

Certains compléments alimentaires peuvent contenir des substances dopantes avec pour risque, pour les sportifs qui les consomment, d'être déclarés positifs suite à un contrôle antidopage et de faire l'objet de sanctions ; sans oublier les effets indésirables pour l'organisme imputables à ces substances dangereuses.

Ainsi quels seront les conseils nutritionnels à respecter chez les pratiquants de musculation et quels sont les choix possibles de compléments alimentaires en termes d'efficacité et d'innocuité que peut conseiller le pharmacien d'officine ?

Pour répondre à cette question, nous étudierons dans un premier temps la physiologie de l'exercice musculaire, dépendante de l'alimentation et donc de la biochimie métabolique ; nous permettant d'observer l'ensemble des réactions chimiques de l'organisme liées à la pratique de l'exercice physique.

Une seconde partie sera réservée à la consommation des compléments alimentaires par les sportifs et les risques potentiels qui en découlent.

Enfin, nous aborderons dans une troisième partie le rôle que peut avoir le pharmacien d'officine en terme de santé publique concernant la diététique de la musculation, l'utilisation des compléments alimentaires, le suivi du sportif à l'officine tout en évitant les risques possibles de dérives chez ces derniers.

1 NUTRITION DU SPORTIF :

1.1 Sport et énergie :

Aujourd'hui la pratique d'une activité physique est préconisée à tous les niveaux et fait l'objet d'un message de promotion et de sensibilisation par les pouvoirs publics : cette démocratisation du sport est illustrée par des chiffres : une enquête Eurobaromètre a été menée par la Commission européenne sur un échantillon non négligeable (26 788 citoyens) et a révélé les habitudes sportives de ces derniers : 40% de ces personnes font du sport une fois par semaine. (1)

Le sport aujourd'hui fait donc partie du quotidien et de nombreuses personnes pratiquent une activité physique que ce soit au niveau amateur ou bien professionnel.

Cette tendance se voit au niveau national également avec près de deux personnes sur trois qui reconnaissent avoir pratiqué, au cours des douze derniers mois, une activité physique ou sportive au moins une fois par semaine selon une enquête menée en 2010. (2)

	en % de la population des 15 ans et plus	en millions de personnes
Pratiquants intensifs d'une ou plusieurs activités physiques ou sportives (APS) (1)	43 %	22,4
Dont pratiquants compétiteurs en clubs ou associations	8 %	4,4
Dont pratiquants compétiteurs hors clubs ou associations	3 %	1,5
Dont pratiquants non compétiteurs en clubs ou associations	8 %	4,1
Dont pratiquants non compétiteurs hors clubs ou associations	24 %	12,4
Pratiquants réguliers d'une ou plusieurs APS (2)	22 %	11,6
Dont pratiquants en clubs ou associations	8 %	4,0
Dont pratiquants hors clubs ou associations	15 %	7,6
Pratiquants d'une ou plusieurs APS non intensifs (3)	20 %	10,4
Dont pratiquants en clubs ou associations	3 %	1,5
Dont pratiquants hors clubs ou associations	17 %	8,9
Personnes ayant pratiqué une APS exclusivement durant leurs vacances	5 %	2,4
Pratiquants dont la fréquence de pratique est indéterminée	< 1 %	0,3
Personnes ayant pratiqué une activité physique ou sportive au moins une fois dans l'année	89 %	47,1
Dont personnes ne pratiquant que la marche ou balade loisir ou la marche utilitaire	12 %	6,4
Dont personnes ne pratiquant une activité physique ou sportive qu'à des fins utilitaires	3 %	1,5

Source : enquête pratique physique et sportive 2010, CNDS / direction des sports, INSEP, MEOS
Champ : personnes résidant en France (métropole et départements d'outre-mer) et âgées de 15 ans et plus
(1) plus d'une fois par semaine ; (2) une fois par semaine ; (3) moins d'une fois par semaine
Note de lecture : on entend par compétiteurs des personnes qui participent à des compétitions officielles ou à des rassemblements sportifs

Figure 1-Les différents niveaux de la pratique physique et sportive (2)

1.1.1 Le sportif

1.1.1.1 Définition

Selon l'OMS, l'activité physique se définit par tout mouvement produit par les muscles squelettiques, responsable d'une augmentation de la dépense énergétique. Le sport est, quant à lui, un sous-ensemble de l'activité physique, spécialisé et organisé.

Le sport est donc la forme la plus sophistiquée de l'activité physique, cependant l'activité physique ne se réduit pas seulement au sport, elle englobe également les activités physiques de la vie quotidienne. (3) (4)

L'OMS recommande d'effectuer l'équivalent de 10 000 pas quotidiens comme minimum d'activité physique requise pour se maintenir en forme et préserver son capital santé. Le sportif lui pratique plus de deux entraînements par semaine et une compétition par mois. (5)

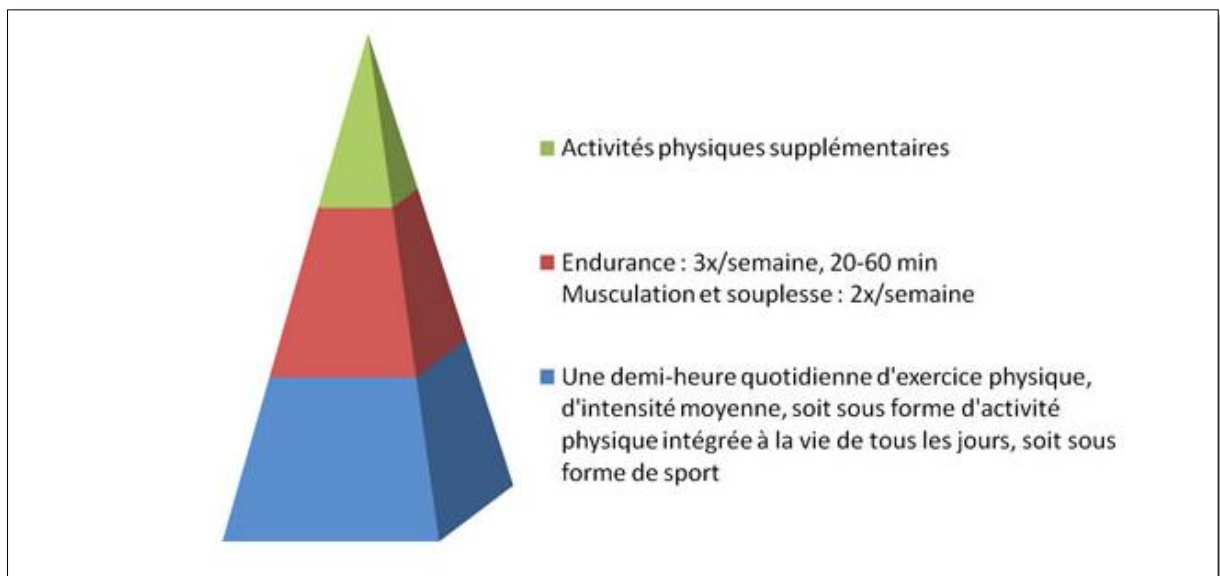


Figure 2-Pyramide de l'exercice : activité physique et sportive (5)

En France, les recommandations actuelles en matière d'activité physique ont été élaborées par le Ministère de la Santé avec la création du Programme National Nutrition Santé, communément appelé PNNS ayant pour objectif principal la diminution de l'incidence des pathologies cardiovasculaires et chroniques.

Le PNNS recommande la pratique de la marche soutenue ou équivalent pendant 30 minutes chaque jour de la semaine.

De plus les activités de la vie courante ont été intégrées dans l'activité physique, ainsi le cumul de ces petits efforts vise à atteindre ces 30 min d'activité journalière.

Ce programme national a pour but principal la promotion de l'activité physique au service d'une meilleure santé, l'objectif principal étant la lutte contre l'obésité et ainsi diminuer l'incidence des pathologies cardiovasculaires et chroniques. (6)

1.1.1.2 Bénéfices

- Sur le bien-être :

Les motivations et bénéfices qui nous poussent à effectuer des activités physiques et sportives sont nombreuses et variées. On retrouve souvent comme thématique le développement de notre bien-être, ceci passe d'abord par le plaisir à effectuer ces activités physiques ou sportives. En effet si ce plaisir n'est pas présent, les performances ne seront pas au rendez-vous mais également la fréquence de ces activités va diminuer.

On retrouve également d'autres thématiques comme le dépassement de soi et la création de relations sociales. Le sport, peu importe le niveau, est un vecteur de dépassement de soi et un outil de motivation très puissant qui va permettre au sportif de donner le maximum de lui-même, de toujours chercher à repousser ses limites. Il permet également d'entretenir et de créer des relations sociales.

La gestion du stress et du sommeil grâce au sport est aussi très importante, le sport permet de se concentrer sur autre chose que les tracas et les problèmes du quotidien et permet de les aborder avec plus de sérénité. Le sport sert donc d'antidépresseur naturel et est tout aussi efficace. En plus du moral, le sommeil sera lui aussi amélioré. Des études menées sur des personnes insomniaques ou des dépressifs ont ainsi montré que l'activité physique et sportive permet d'améliorer le sommeil et le moral de ces personnes. (7)

Enfin le dernier aspect est celui de la perte du poids et du maintien de la forme, l'obésité étant devenue un problème de santé majeur dans de nombreux pays, la pratique du sport est devenue la figure de proue pour préserver et améliorer notre capital santé. Ainsi la HAS et l'ANSES recommandent une activité physique structurée au moins deux fois par semaine en prévention des maladies cardiovasculaires et de l'obésité. (8)

La pratique régulière d'activités physiques d'intensité modérée va donc pleinement contribuer au bien-être et à la qualité de vie.

- Sur la santé :

Le bénéfice du sport sur la santé est connu de tous, tous les professionnels de santé sont unanimes : faire du sport est bon pour la santé. Il a été démontré que quinze minutes seulement d'activité physique quotidienne augmentent l'espérance de vie de trois ans. (9)

Après l'âge de 40 ans, marcher rapidement pendant 75 min par semaine pourrait allonger la durée de la vie de deux ans ; avec l'équivalent d'une heure de marche rapide par jour cette durée de vie augmenterait à quatre ans. (10)

Une réduction de la mortalité générale comprise entre 2% et 58% est observée selon le type et le niveau d'activité considérée et selon le niveau d'études, autant de variables qui vont agir sur la mise en place d'une activité physique ou non. (4)

- la pratique d'une activité physique et sportive va également avoir des conséquences sur le profil métabolique. En effet les personnes effectuant une activité physique modérée régulière présentent des taux de cholestérol HDL, communément appelés « bon cholestérol », 20-30% supérieurs que les personnes inactives. On observe également une diminution du « mauvais

cholestérol » qui est représenté par le cholestérol LDL. Ces mécanismes s'expliquent par une augmentation de l'activité d'enzymes comme les lipoprotéines lipases musculaires et du tissu adipeux qui vont découper les triglycérides en acides gras simples. De plus l'entraînement physique améliore l'action de l'insuline et l'utilisation du glucose au niveau métabolique et musculaire.

-le risque de cancer est également diminué grâce à l'activité physique et sportive (APS), c'est ce qu'indiquent des études d'observations : le risque d'incidence de cancer et de mortalité associée étant inférieur chez les personnes que l'on qualifiera d'actives. Ainsi chez les femmes atteintes d'un cancer du sein localisé et pratiquant une activité physique égale à 150 minutes par semaine divisées en trois séances, le risque de mortalité est réduit de 34%. Cet effet est également retrouvé chez les personnes atteintes de cancer du côlon, pour une activité physique encore plus soutenue, correspondant à environ 1000kcal par semaine. (11)

L'APS va également avoir des effets positifs sur le système osseux et sur l'immunité. D'une part l'exercice physique va renforcer la densité osseuse, augmenter la souplesse articulaire et l'amplitude des mouvements et ainsi diminuer le risque d'ostéoporose sur le long terme. D'autre part les défenses immunitaires seront stimulées lors d'exercices modérées en intensité et en volume, elles peuvent cependant diminuer dans le cas d'exercices intenses.

Enfin une APS améliorerait les performances cognitives en améliorant le bien être psychologique de la personne, en outre l'incidence des maladies neurodégénératives serait également diminuée. (12)

Selon l'OMS, pratiquer une activité physique régulière et adaptée va permettre :
- de réduire le risque d'hypertension, de cardiopathies coronariennes, d'accident vasculaire cérébral, de diabète, de cancer du sein et du côlon, de dépression et de chute;
-d'améliorer l'état des os et la santé fonctionnelle ; et est un déterminant clé de la dépense énergétique et est donc fondamental pour l'équilibre énergétique et le contrôle du poids. (3)
(13)

Toutes ces données nous permettent de conclure et nous montrent que le sport, pratiqué quotidiennement et/ou à des hauts niveaux d'entraînements chez les sportifs, contribue et présente de nombreux bénéfices pour la santé.

1.1.2 Le muscle

1.1.2.1 Le tissu musculaire

En musculation plus que dans n'importe quel autre sport, les muscles seront sollicités quotidiennement et, nous le verrons par la suite, selon des régimes de contractions particuliers ; nous allons voir tout d'abord de plus près les éléments entrant en jeu lors de la contraction des muscles.

1.1.2.1.1 Classification des muscles

Le tissu musculaire est caractérisé par une propriété physiologique qui lui est propre : la contractilité. Cette possibilité est assurée par les cellules qui le constituent : les myocytes.

Dans l'organisme on retrouve différents types de cellules musculaires : on différencie le muscle strié squelettique à contraction volontaire, le muscle lisse à contraction involontaire et le muscle cardiaque à contraction automatique. (14)

Le muscle strié sert ainsi de support pour porter et déplacer le squelette, il est innervé par le système nerveux autonome.

Ces différents muscles sont sollicités en musculation : lors de l'effort il y a une augmentation de la fréquence cardiaque ainsi le muscle cardiaque est stimulé en réponse à l'effort ; les muscles lisses sont indirectement impliqués en raison de l'action facilitatrice de l'activité physique sur ces derniers : c'est le cas par exemple de la musculation des abdominaux pouvant faciliter le transit intestinal ; et principalement le muscle squelettique. (15)

1.1.2.1.2 Le muscle squelettique

1.1.2.1.2.1 Présentation

Le muscle strié squelettique est rattaché au squelette par l'intermédiaire des tendons, et est composé de fibres musculaires juxtaposées parallèlement et organisées en faisceaux. Ces fibres s'apparentent à de longues formes cylindriques contenant noyaux, mitochondries, réticulum endoplasmique et myofibrilles. Chaque fibre musculaire est donc formée de

myofibrilles eux-mêmes organisées en faisceaux, et contenant des structures contractiles : les filaments fins d'actine et les filaments épais de myosine. (16)

Plusieurs couches de tissus conjonctifs séparent et protègent les nombreux composants du muscle squelettique. L'endomysium sépare chaque fibre musculaire, le périmysium organise de 10 à 100 fibres musculaires en faisceaux et l'épimysium est la couche extérieure qui enveloppe tout le muscle. Ces membranes fournissent des fibres de collagène aux tissus conjonctifs qui attachent le muscle à d'autres structures (muscle, os, tendons).

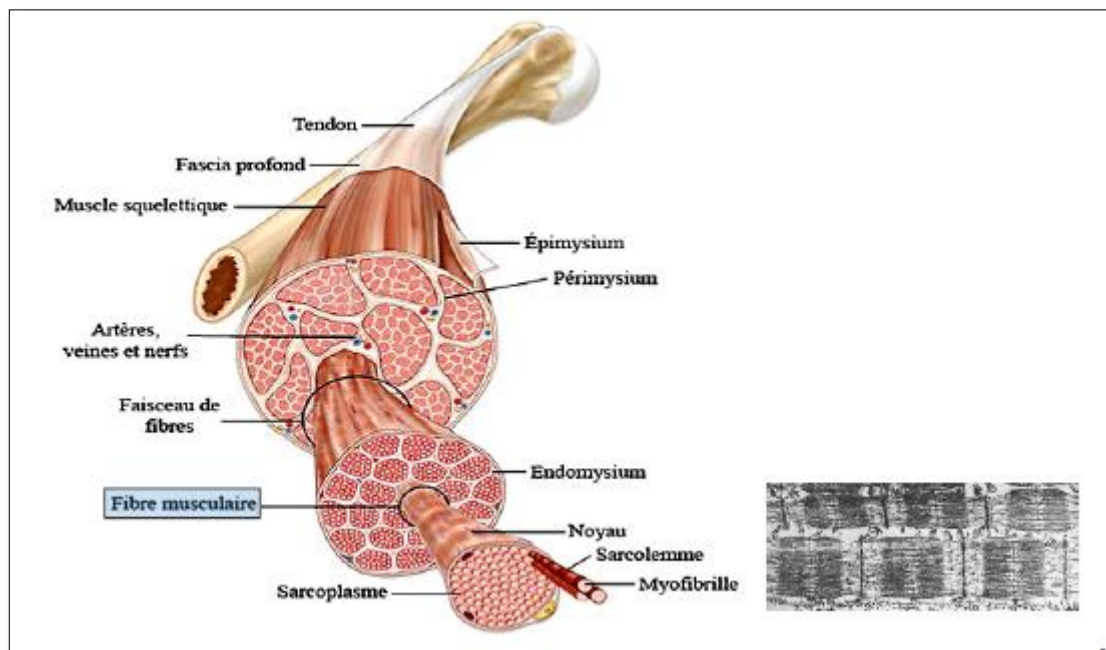


Figure 3- Anatomie du muscle strié squelettique (17)

Le muscle squelettique sera donc celui qui nous intéresse le plus dans le cadre d'un développement musculaire chez le sportif en musculation ; au niveau anatomique il est constitué d'un ensemble de fibres musculaires ou myocytes, un myocyte étant l'assemblage de plusieurs myofibrilles.

Il s'agit d'un organe plastique dont la masse peut varier en fonction de situations physiologiques telles que l'exercice ; une activité musculaire accrue (comme l'entraînement du sportif) entraînera ainsi une hypertrophie.

1.1.2.1.2.2 Classification du muscle strié

On distingue trois principaux types de fibres musculaires squelettiques, variant selon leur teneur en myoglobines, nommées fibres rouges, fibres intermédiaires ou fibres blanches. (18)

1.1.2.1.2.2.1 Fibres musculaires de type I

Ce sont des fibres rouges de petite taille, 26 μm de diamètre. Elles possèdent un réseau capillaire très dense, chaque fibre étant en contact avec 6 à 8 capillaires. Ces fibres sont riches en mitochondries, qui correspondent aux « centrales énergétiques » de l'organisme. Elles ont une activité tonique de petite puissance mais pour une longue durée, elles se contractent donc lentement mais sont très résistantes à la fatigue. Elles sont principalement sollicitées pour un métabolisme aérobie oxydatif et sont donc nommées fibres oxydatives ou communément appelées « fibres de l'endurance » : elles sont ainsi adaptées aux efforts longs et en condition aérobie tels que le marathon, ou le ski de fond à titre d'exemples.

1.1.2.1.2.2.2 Fibres musculaires de type IIa

Ce sont des fibres de couleur et de taille intermédiaires, d'environ 28 μm de diamètre. Elles ont une activité tonico-phasique, ce qui leur permet de se contracter rapidement et d'être résistantes à la fatigue. Elles présentent une bonne capacité anaérobie et aérobie, elles sont donc communément appelées fibres intermédiaires.

1.1.2.1.2.2.3 Fibres musculaires de type IIb

Ce sont des fibres blanches et de grande taille, 46 μm de diamètre. Elles sont caractérisées par une activité phasique de grande puissance mais de courte durée, elles se contractent donc très rapidement mais sont également très fatigables. Les fibres IIb sont riches en glycogène mais pauvre en mitochondries, elles seront principalement sollicitées pour un métabolisme anaérobie et sont donc nommées fibres glycolytiques. Ces fibres à contraction rapide sont adaptées aux efforts brefs et intenses, en anaérobie, tels que le sprint ou l'haltérophilie.

Tableau 1- Classification des fibres musculaires squelettiques (22)

FIBRE	I	Ila	Ilb
COULEUR	Rouge	Intermédiaire	Blanche
TAILLE	•	•	•
PROFIL	Lente	Rapide	Très rapide
CONTRACTION	Tonique	Tonico-phasique	Phasique
FORCE	F	F	F
VASCULARISATION	+++++	+++	+
METABOLISME	Aérobie	Aérobie/Anaérobie	Anaérobie
RESISTANCE A LA FATIGUE	Forte	Moyenne	Faible
GLUCIDES	++	+++	++++
LIPIDES	+++	+	-

1.1.2.1.2.3 Durant l'effort

Comme vu précédemment la propriété de contractilité est propre aux fibres musculaires, et portée par des unités contractiles présentes dans la myofibrille.

La myofibrille est l'unité de base de la fibre musculaire squelettique, son raccourcissement permet la contraction du muscle. Les myofibrilles sont constituées d'une répétition de sarcomères.

Dans un sarcomère on retrouve ces protéines contractiles que sont les filaments épais de myosine, bipolaires et autoassemblés, associés en quinconce avec des microfilaments plus fins d'actine.

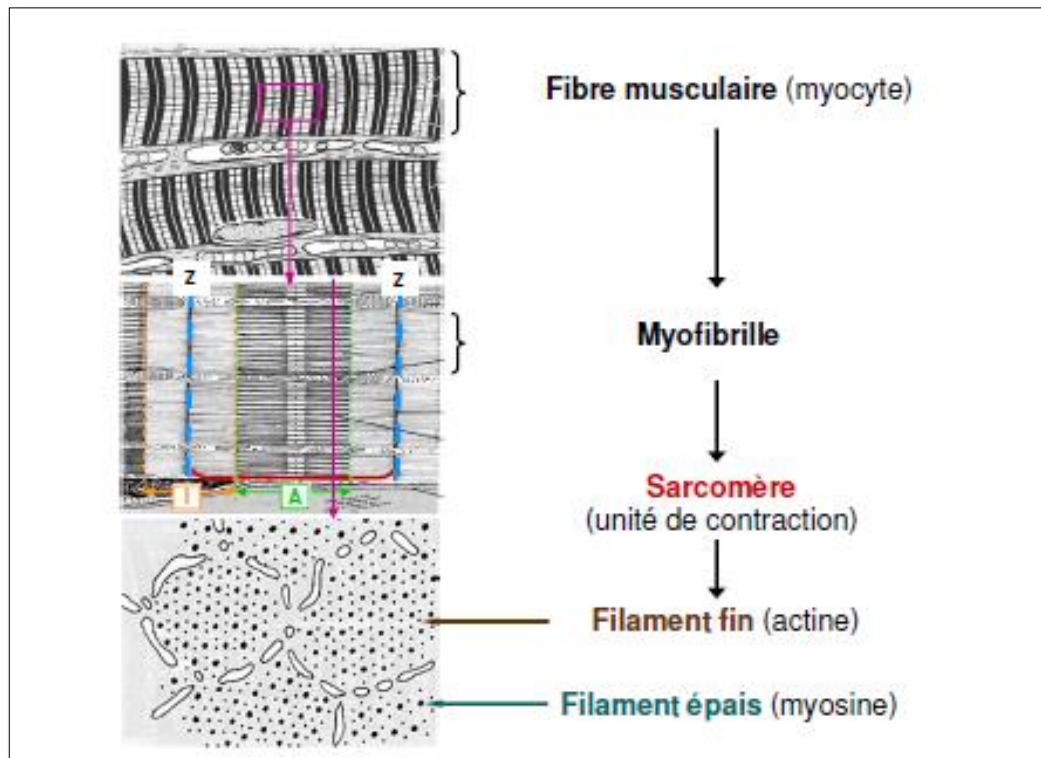


Figure 4-Sarcomère & filaments (22)

La contraction musculaire est observée lors du rapprochement de deux disques Z jusqu'à une distance de $1,2\ \mu\text{m}$ environ (alors qu'ils sont distants de $2,2\ \mu\text{m}$ environ lorsque le muscle est relâché). Ceci est possible par le déplacement des filaments d'actine sur les têtes de myosine qui pivotent en réponse à une élévation de la concentration intracellulaire en ions Ca^{2+} .

La contraction musculaire est donc permise grâce à l'interaction entre ces deux types de filaments : elle est réalisée par le raccourcissement des fibres musculaires et résulte du glissement actif des filaments épais de myosine entre les filaments fins d'actine. (14)

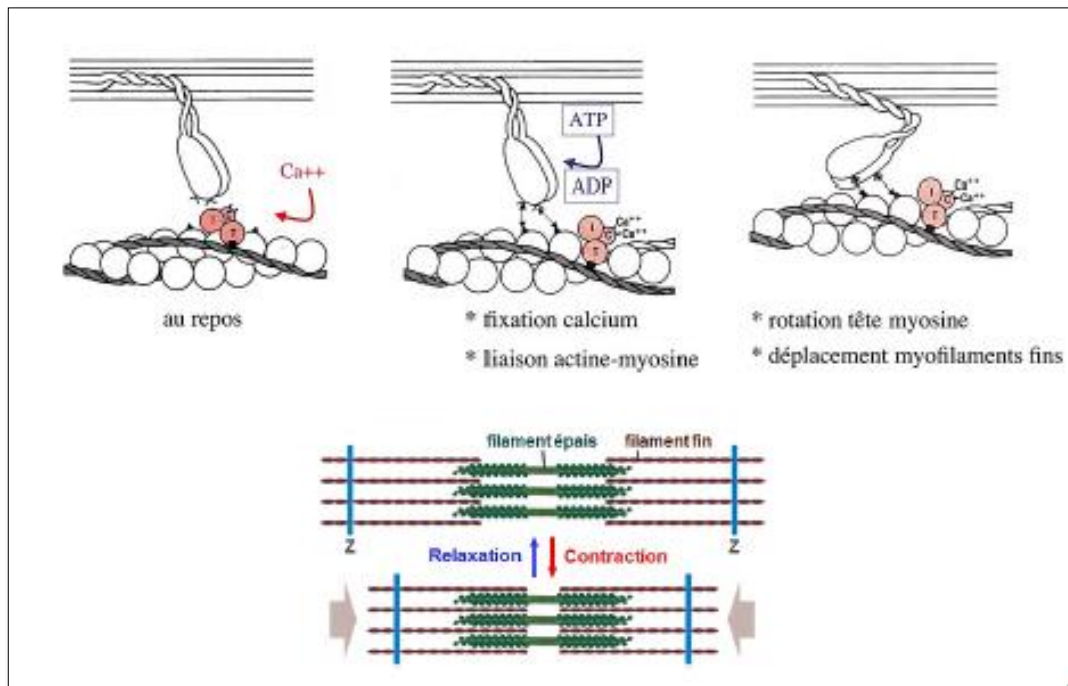


Figure 5-Contraction musculaire par glissement (22)

1.1.2.2 En musculation

La musculation possède plusieurs régimes de contraction, et est basée sur l'application du principe de surcharge progressive, principe sur lequel se base la plupart des méthodes d'entraînement. (19)

La musculation, retrouvée bien sûr dans le bodybuilding, l'haltérophilie, le fitness ou tous les autres sports nécessitant une phase de force, va faire intervenir de nombreuses contraintes sur le muscle et le solliciter de différentes façons et ainsi permettre de travailler différents aspects tels que l'endurance, la force, ou le volume musculaire. (20)

On peut grossièrement classer les exercices de musculation en deux parties distinctes : les exercices poly-articulaires et les exercices d'isolation.

1.1.2.2.1 Exercices polyarticulaires

Ce type d'exercice permet de solliciter lors d'un même exercice de nombreux muscles en une seule fois, ils sont très complets et font partie des exercices de base que l'on retrouve souvent dans toutes les préparations physiques.

Nous pouvons par exemple s'intéresser au squat, qui va faire travailler le membre inférieur dans son ensemble : il consiste à effectuer une flexion du genou, donc du fémur par rapport au tibia, en induisant également une bascule du bassin vers l'avant.

Ainsi, les muscles sollicités seront très nombreux : les principaux seront les quadriceps, les ischio-jambiers, les adducteurs, le muscle grand fessier, et dans une moindre mesure le triceps sural, les nombreux muscles stabilisateurs du bassin mais également certains muscles du membre supérieur.

Ces exercices se font avec une charge apposée sur les trapèzes et exercent une force et une contrainte importantes aux muscles, ce sont donc des exercices qui vont puiser très vite dans le stock d'énergie car ils sont très épuisants et très demandeurs d'énergie.

1.1.2.2.2 Exercices d'isolation

A l'opposé des exercices polyarticulaires on retrouve les exercices d'isolation, qui sont plutôt utilisés en fin de séance pour un travail plus spécifique et plus ciblé sur un muscle.

On peut prendre l'exemple du curl biceps qui va consister à ramener une charge en ayant comme point de départ les bras tendus (jamais en totale extension pour préserver les tendons et les articulations) et arriver en position finale à une complète contraction des biceps.

Ici, les muscles du bras comme le biceps brachial, le brachial antérieur et le long supinateur vont intervenir mais le travail appliqué avec ce type d'exercice reste localisé.

1.1.2.2.3 Différentes sollicitations

Les sollicitations imposées aux muscles lors d'exercices de force en musculation sont diverses et variées, on décompose ainsi les exercices de musculation selon des termes précis.

On retrouve ainsi différents paramètres variables tels que le nombre de séries, le nombre de répétitions, le tempo utilisé pour la répétition, mais également le temps de repos. Une répétition va consister à appliquer une amplitude complète ou quasi-complète en partant d'une situation de départ où le muscle est en extension et se retrouver à l'arrivée en contraction puis revenir à son point de départ. Ceci va définir ce qu'on appelle une répétition, et la continuité de ces répétitions va définir une série. Ces séries étant entrecoupées d'un temps de repos pouvant varier.

Il existe différents types de contractions, on compte trois contractions majeures : les contractions excentriques, les contractions isométriques ainsi que les contractions concentriques. Chacune d'elle va avoir un axe de travail totalement différent des autres, permettant ainsi de cibler un peu mieux un élément que l'on souhaite travailler. (21)

1.1.2.2.3.1 Mouvement isocentrique

1.1.2.2.3.1.1 Principe

En régime isométrique, le principe est que les muscles se contractent, mais les leviers ne bougent pas et les points d'insertion sont fixes. Les contractions isométriques, également appelées travail en statique, ne modifient pas la longueur du complexe tendino-musculaire. (22)

1.1.2.2.3.1.2 Avantages

Ce mouvement est extrêmement intéressant lorsque l'on souhaite travailler la force, il permet une activation maximale des muscles grâce à la fatigue tout en réalisant des exercices faciles à mettre en œuvre et ne nécessitant pas de matériel particulier. (23)

1.1.2.2.3.1.3 Inconvénients

Le principal inconvénient de cette méthode est qu'il n'y a que la force qui est travaillée, il n'y pas d'hypertrophie musculaire avec ce type de contraction. Il convient de noter que le risque de blessure augmente avec la charge utilisée, que le régime isométrique n'est effectif que sur

une durée très courte, de quelques secondes ; c'est donc un axe de travail complémentaire avec d'autres exercices de contractions.

Cependant le plus gros inconvénient concerne la récupération : plus la charge soulevée sera lourde, plus la récupération musculaire, articulaire et nerveuse sera longue. (23)

1.1.2.2.3.2 Mouvement concentrique

1.1.2.2.3.2.1 Principe

Les contractions concentriques sont les plus utilisées, que cela soit de manière consciente ou inconsciente. On appelle également ce type de travail la phase positive, il s'agit du mouvement qui consiste à soulever une charge, mouvement généré par l'augmentation de la tension musculaire.

La contraction concentrique est la contraction d'un muscle qui entraîne un mouvement lié à son raccourcissement en rapprochant les points d'insertions. (22)

Il s'agit d'une activité musculaire mobilisatrice selon l'agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé (ANAES).

1.1.2.2.3.2.2 Avantages

Les exercices en régime concentrique vont permettre un développement de l'hypertrophie musculaire mais également un développement de la circulation sanguine locale au niveau du muscle sollicité. (15)

1.1.2.2.3.2.3 Inconvénients

La phase concentrique est cependant la phase pour laquelle il y a le moins de force employée.

1.1.2.2.3.3 Mouvement excentrique

1.1.2.2.3.3.1 Principe

En régime excentrique, les points d'insertions musculaires vont s'écarter les uns des autres et par conséquent le muscle s'allonge. On définit ce type de travail comme étant la phase négative, il s'agit du mouvement qui consiste à retenir une charge, le mouvement étant généré quand la résistance opposée au mouvement est supérieure à la force développée par le muscle. Il s'agit donc d'une activité musculaire frénatrice. (22)

1.1.2.2.3.3.2 Avantages

Les avantages de la contraction excentrique sont nombreux, il permet de focaliser le travail sur les différentes fibres musculaires ; le résultat est plus important lorsqu'il est couplé à une contraction concentrique. Il permet également une tension supérieure à l'isométrique, et donc un gain de force associé.

Le travail en excentrique est également utilisé pour la rééducation lors d'une blessure car en étirant le muscle on va soulager les tensions musculaires. En améliorant la force excentrique, on retarde le seuil d'apparition des lésions musculaires, tendineuses ou ligamentaires.

Dans les séances de musculation, il est régulièrement couplé avec d'autres régimes car fort éprouvant. Il est également utilisé pour le gain d'amplitude du mouvement car le muscle s'étire par éloignement des insertions musculaires.

1.1.2.2.3.3.3 Inconvénients

Le travail en excentrique est donc beaucoup plus fatiguant qu'en concentrique puisqu'il s'agit de lutter contre la descente de la charge appliquée par la gravité.

Plus la charge est lourde et plus le risque de blessure augmente, et la récupération qui s'en suit est assez longue car elle impose une contrainte élevée aux muscles et articulations lors de l'exercice.

De plus, utilisée seule, elle ne permet pas un gain de masse musculaire ; pour toutes ces raisons il ne faut pas travailler exclusivement avec cette méthode.

Toutes ces méthodes de contractions sont rendues possibles grâce au glissement relatif de ces myofilaments, ce qui entraîne un raccourcissement de la cellule. Le phénomène de contraction musculaire nécessite de l'énergie et est fournie par une molécule particulière : l'ATP ou Adénosine-TriPhosphate.

1.1.3 L'ATP, réservoir énergétique

1.1.3.1 Définition

L'ATP représente donc l'unique structure permettant au muscle squelettique de transformer l'énergie biochimique en énergie mécanique externe via le phénomène de contraction des fibres musculaires ; l'ATP est constituée d'une molécule d'adénosine, contenant un groupement ribose associé à un groupement adénine ; le tout étant lié à trois groupements phosphates, chaque groupement étant constitué d'atomes de Phosphore et d'Oxygène.

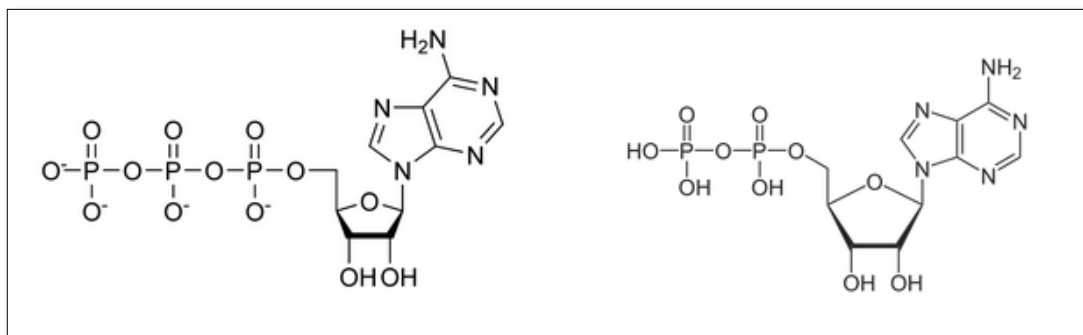


Figure 6-Structure de l'ATP et de l'ADP (24)

1.1.3.2 Rôle

Comme vu précédemment, la contraction des muscles va nécessiter une certaine quantité d'énergie que fournira l'ATP : en effet la dégradation de la molécule d'ATP par hydrolyse et rupture de la liaison phosphoanhydre fournit l'énergie nécessaire aux réactions chimiques du métabolisme, avec pour produits également libérés une molécule d'ADP et un Phosphate.

La dégradation de l'ATP se résume ainsi :



1.1.3.3 Régulation

La concentration d'ATP reste constante au sein de la fibre musculaire, même lors d'un exercice musculaire intense, il n'y a pas de constitution de réserves en ATP au repos ou lors de la récupération.

L'organisme possède cependant des réserves limitées en ATP dans le muscle (5mmol/kg de muscle) et dont la disponibilité n'excède pas quelques secondes. Les stocks doivent donc être renouvelés rapidement si l'effort est prolongé et ainsi fournir l'énergie chimique nécessaire aux fibres musculaires. (25)

Cette molécule d'ATP est produite dans l'organisme par trois voies énergétiques différentes, ces voies se mettant en place successivement selon la durée et l'intensité de l'effort.

1.1.4 Les voies de formation de l'ATP

1.1.4.1 Voie Anaérobie Alactique

La voie anaérobie alactique ou voie des phosphagènes entre en action immédiatement pour des efforts intenses mais de quelques secondes seulement (environ 10 secondes), elle constitue la première source d'énergie et permet de développer rapidement une puissance importante.

La créatine constitue ici l'élément clé de cette voie et se présente sous la forme de créatine phosphate, cette molécule permet le transfert du groupement Phosphate à un ADP pour ainsi aboutir à la formation d'ATP ; la créatine joue donc un rôle prépondérant en réponse aux efforts brefs et intenses, c'est pourquoi elle est utilisée et retrouvée aujourd'hui dans les compléments alimentaires (CA) pour les sportifs.

Comme son nom l'indique, cette voie n'a pas besoin d'oxygène pour se mettre en place et fonctionner et de plus, cette voie n'aboutit pas à la formation finale d'acide lactique. On peut citer l'haltérophilie et le sprint comme principaux sports impliqués dans cette voie.

1.1.4.2 Voie Anaérobie Lactique

La voie anaérobie lactique fait suite à la précédente et contrairement à la voie anaérobie alactique, elle nécessite l'utilisation de substrats préalablement assimilés via l'alimentation : elle va ainsi utiliser les réserves de glucose circulant ou les réserves de glycogène présent dans le muscle après 10-20 secondes d'effort. (26)

Elle nécessite cependant plus de temps que la voie des phosphagènes avant d'être opérationnelle mais elle permet un apport supérieur en énergie. Elle aboutit cependant assez rapidement à la production d'acide lactique, dernier métabolite formé par cette filière et constituant le facteur limitant.

Après environ deux minutes, elle est supplée par la filière aérobie qui va elle permettre de continuer l'effort sur une plus longue durée comme illustré sur le schéma ci-après.

1.1.4.3 Voie Aérobie Alactique

La voie aérobie alactique représente la dernière voie de production d'ATP, cette filière entre en jeu pour des efforts d'une durée supérieure à deux minutes. Elle va permettre de fournir de l'ATP en grande quantité, et ceci grâce à l'oxydation de substrats énergétiques apportés par l'alimentation, et d'origines diverses :

- les glucides provenant du glycogène musculaire et du glucose sanguin.
- les lipides : les acides gras présents dans les muscles, et acides gras libérés par le tissu adipeux.
- les protéines : cette dernière source est cependant minoritaire comparée aux deux autres.

La voie aérobie alactique a pour caractéristique deux particularités : elle nécessite la présence d'oxygène et se déroule donc seulement en condition aérobie ; et elle n'aboutit pas à la formation d'acide lactique, ce qui rend son fonctionnement quasi-illimité dans le temps, contrairement au système anaérobie.

La majorité des sports fait appel à la voie aérobie alactique, c'est la voie de remplacement principale des molécules d'ATP.

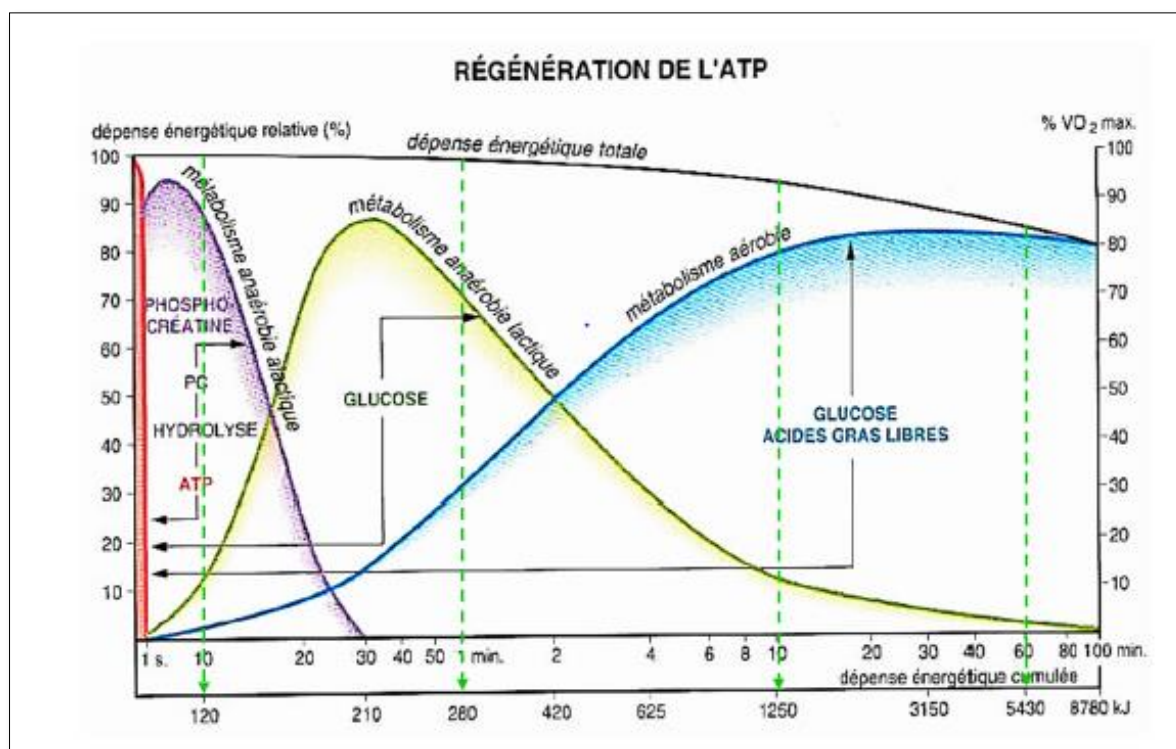


Figure 7-Contribution relative des 3 sources énergétiques (22)

La molécule d'ATP est donc produite de façon complexe par ces différentes voies métaboliques au sein de l'organisme, et ce à partir de l'alimentation et plus particulièrement des macronutriments, représentés par les glucides, lipides, et protéines.

1.2 Les macronutriments comme source d'énergie

1.2.1 Les glucides

1.2.1.1 Présentation

Les glucides peuvent être classés selon leur structure en monosaccharides ou polysaccharides. Les glucides possèdent dans leur structure des atomes de Carbone, d'Oxygène et d'Hydrogène, d'où leur nom d'hydrates de carbone. (27)

1.2.1.2 Classification

Cette classification est purement structurale, elle n'intègre pas les propriétés des glucides pour les classer. On verra par la suite que les glucides peuvent être classés selon d'autres critères.

1.2.1.2.1 Glucides simples

Parmi les monosaccharides on retrouve la structure centrale qu'est le glucose. C'est le monosaccharide central de notre métabolisme. Le glucose est un carrefour métabolique, c'est celui dont la concentration est la plus finement régulée.

On peut également citer le galactose et le fructose appartenant aux monosaccharides.

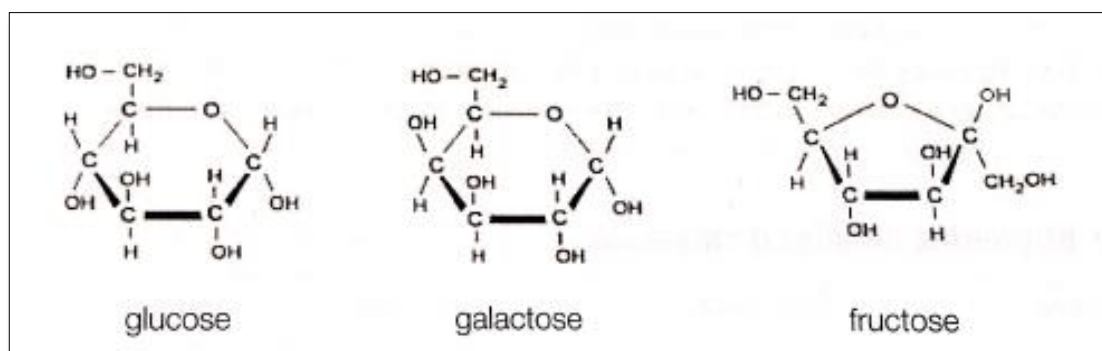


Figure 8-Monosaccharides : structure du glucose, galactose et fructose (9)

On peut inclure dans cette catégorie les disaccharides, formés par condensation de deux monosaccharides et liés entre eux par une liaison osidique, car ils nécessitent une action enzymatique très rapide et libèrent ainsi des molécules d'oses directement assimilables. On peut citer le lactose et le maltose dans cette catégorie. (27) (9)

1.2.1.2.2 Glucides complexes

Les glucides complexes sont représentés par les osides, qui résultent de l'association, par liaison glycosidique, d'oses ou dérivés soit entre eux ce sont les holosides, soit avec d'autres molécules non glucidiques appelés aglycones et correspondant aux hétérosides. (28)

Ils correspondent aux glucides « complexes » et sont hydrolysables.

Les polysaccharides (holosides) sont constitués de plusieurs molécules de glucose, ce qui donne de grandes molécules, difficilement hydrolysables au premier abord. On retrouve dans cette catégorie l'amidon et le glycogène mais également les fibres.

Parmi les hétérosides, nous retrouvons des résidus d'oses liés à des protéines et formant une glycoprotéine, ou liés à des lipides et formant un glycolipide. On peut également retrouver des groupements alcools, acides, désoxy-oses, phosphates, sulfates etc.

En l'absence de consensus sur ce point cette classification en glucides simples et complexes est un peu délaissée aujourd'hui, en effet maintenant on classe les glucides selon ce qu'on appelle leur index glycémique (IG), que l'on verra par la suite. (29)

Tableau 2-Classification des Glucides (30)

	TYPE	EXEMPLES	SOURCES
GLUCIDES SIMPLES	Monosaccharides	 Glucose  Fructose  Galactose	Aliments sucrés Fruits Lait
	Disaccharides	 Saccharose  Lactose  Maltose	Betterave Houblon
GLUCIDES COMPLEXES	Polysaccharides assimilables	 Amidon	Pommes de terre Céréales Légumes secs
	Polysaccharides non assimilables (les fibres)	Celluloses Hémicelluloses Pectines Mucilages Gommes	Graines Légumes secs Légumes verts Fruits

1.2.1.2.3 L'index glycémique :

L'autre classification, aujourd'hui la plus répandue, consiste à classer les glucides en fonction de leur index glycémique (IG), c'est-à-dire en fonction de leur pouvoir hyperglycémiant après un repas. Cette classification se base ainsi sur les propriétés métaboliques résultant de la digestion des glucides. (29)

L'index glycémique est une valeur comprise entre 0 et 100 et ne comporte pas d'unité, la molécule de référence est le glucose auquel on attribue par convention la valeur 100.

Ainsi plus l'IG d'un aliment est élevé, plus il va augmenter la glycémie après son ingestion.

Cependant il convient de préciser que d'autres paramètres influent sur l'index glycémique des aliments et vont donc permettre d'optimiser l'apport alimentaire avec l'activité sportive.

Ces paramètres sont représentés par la proportion d'amylose et d'amylopectine d'un aliment, le mode et le temps de cuisson, la conservation, la proportion de protéines et de fibres contenues dans un aliment, le degré de mûrissement notamment pour les fruits, et enfin la taille des particules. (9)



ALIMENTS AYANT UN FAIBLE IG (< 55)	ALIMENTS AYANT UN IG MOYEN (55-70)	ALIMENTS AYANT UN IG ÉLEVÉ (> 70)
Pâtes et nouilles al dente Lentilles Pommes Poires	Riz basmati Banane bien mûre Pain de mie multi-	Pain (blanc ou complet) Pommes de terre bouillies Cornflakes et la plupart des céréales du petit déjeuner
Oranges Raisins Yaourt nature Haricots blancs Chocolat noir Fructose (sucre des fruits)	céréales Ananas Pâtes bien cuites Sucre blanc (saccharose)	Pommes de terre en purée Riz blanc cuisson rapide Riz brun cuit dans un excès d'eau Maïzena Glucose

Figure 9-Index Glycémique de quelques aliments (30)

Tableau 3-Index glycémique de quelques aliments et ingrédients glucidiques (31)

Aliment/Ingrédient	Index glycémique		Nombre d'études pour le calcul de la moyenne
	Réf. Glucose	Réf. Pain blanc*	
Glucose	100	141±4	Moy. 11 études
Fructose	19±2	27±4	Moy. 6 études
Saccharose	68±5	97±7	Moy. 10 études
Lactose	46±2	66±3	Moy. 3 études
Baguette	95±15	136	3DNID
Pain de mie blanc	70±0	101±0	Moy. 6 études
Pain de mie complet	71±2	101±3	Moy. 13 études
Pain « pumpernickel »	50±4	71±7	Moy. 6 études
All-Bran, Kellogg's	42±5	60±7	Moy. 4 études
Cornflakes, Kellogg's	81±3	116±5	Moy. 5 études
Maïs doux	53±4	78±6	Moy. 6 études
Haricots blancs	29±9	40±12	Moy. 2 études
Lentilles vertes	30±4	42±6	Moy. 3 études
Purée de pomme de terre instantanée	85±3	122±5	Moy. 6 études
Pomme	38±2	52±3	Moy. 6 études
Banane	52±4	74±5	Moy. 10 études
Orange	42±3	60±5	Moy. 6 études
Spaghetti (cuiss. 10-15 min.)	44±3	64±5	Moy. 7 études
Riz blanc (cuit à l'eau)	64±7	91±9	Moy. 12 études
Riz précuit	47±3	68±4	Moy. 13 études
Blé Ebly (cuisson 10 min)	50±5	71	10 sujets sains
Barquette Abricot LU	71±6	101	11 sujets sains
LU P'tit Déjeuner Choc.	42±5	60	13 sujets sains
Coca Cola	58±5	83±7	Moy. 2 études
Jus de pomme (SCA)	40±1	57±1	Moy. 3 études
Jus d'orange (SCA)	50±4	71±5	Moy. 2 études
Source : Foster-Powell et al, 2002			
*: pain de mie			

1.2.1.3 Rôles

On a donc des glucides simples, dont le chef de file est représenté par le glucose et des glucides complexes comme l'amidon.

Le rôle des glucides est avant tout énergétique, l'oxydation d'1g de glucose fournit 4kcal, il représente le carburant principal et nécessaire au bon fonctionnement de notre organisme. Certaines cellules sont même entièrement dépendantes du glucose et ne catabolisent que ce substrat : il s'agit des érythrocytes, des leucocytes, mais également au niveau du système nerveux central (SNC) dont la moitié des besoins sont assurés par le glucose. (25)

Il est directement utilisable sous sa forme la plus pure qu'est le glucose ; nous verrons par la suite que ce n'est pas le cas des protéines et des lipides qui doivent subir des transformations avant d'être mobilisables par l'organisme.

Les glucides ont différents rôles au sein de l'organisme : outre la production énergétique ou la mise en réserve, on retrouve la synthèse de glycoprotéines retrouvées dans les membranes cellulaires, dans le collagène ; mais également la formation de l'ADN et ARN via le ribose et désoxyribose, provenant d'un métabolite issu du glucose : le glucose-6-Phosphate.

Les glucides interviennent dans l'élimination des produits toxiques de l'organisme (bilirubine par exemple), et jouent un rôle également dans la protection des radicaux libres, molécules formées dès le début de l'effort et qui peuvent être à l'origine de microlésions musculaires et tendineuses, en les neutralisant suite à une série de réactions. (30)

1.2.1.4 Sources de glucides

Un grand nombre d'aliments contiennent des glucides, le choix de ces derniers sera en fonction de leur IG, de la proportion de fibres mais également selon le moment d'ingestion (post-effort immédiat ou période de récupération).

Tableau 4-Quantité de glucides dans différents aliments (33)

Aliment	Quantité de glucides	Aliment	Quantité de glucides
Sucre blanc	100	Pruneaux secs	40
Céréales sucrées	87	Riz blanc cuit	26
Banane sèche	81	Semoule cuite	24
Miel	76	Pâtes aux œufs cuites	23
Biscuits allégés	75	Pommes de terre au four	23
Datte	70	Banane fraîche	21
Figues sèches	69	Pois chiches cuits	19
Confiture	68	Pommes de terre à l'eau	18
Raisins secs	66	Haricots secs cuits	17
Pain blanc	56	Purée	14
Pain de campagne	54	Lentilles cuites	13
Pâte de fruits	53	Noix	11
Abricots secs	40	Petits pois	9

1.2.1.5 Apports et besoins en glucides

1.2.1.5.1 Dans la population générale

Les recommandations nutritionnelles issues du PNNS préconisent un apport glucidique correspondant à 50% des AET, alors que selon un rapport de l’AFFSA publié en 2004 les apports glucidiques sont encore en dessous et atteignent 40-43% chez les hommes et 38-43% chez les femmes, « *ce qui est nettement inférieur aux recommandations nutritionnelles* ». (29)

L’ANSES a, depuis 2017, publié de nouvelles recommandations visant à actualiser les repères de consommation issues du PNNS : en ce qui concerne les glucides il a été défini un apport de glucides couvrant 40-55% de l’AET en préférant les glucides à IG faible. (31)

Dans un régime alimentaire équilibré, les besoins quotidiens en glucides sont de 4 à 8 g de glucides par kilo et par jour, cela représente en moyenne 220 à 250 g de glucides par jour, cette proportion de glucides dans l'alimentation permet de maintenir les réserves en glucides de l'organisme (glycogène hépatique et musculaire) à un niveau stable d'environ 500 g. (32)

1.2.1.5.2 Chez le sportif

Pour les sportifs, les glucides doivent représenter au minimum 55% de la ration calorique totale et peuvent atteindre jusqu’à 65% des AET lors d’activités intenses importantes. Les performances sportives sont donc dépendantes des réserves glucidiques du sportif, et de la manière dont celles-ci sont gérées. (25)

Toute une stratégie alimentaire est à mettre en place, avant, pendant et après l'épreuve sportive.

Ainsi la part des glucides sera variable en fonction de l’activité physique mais également des objectifs fixés. Si l’on pratique une activité physique avec une prise de poids nécessaire ou bien un maintien, le taux de glucides à apporter varie de 3 à 7g/kg/j ; et pour une perte de poids il se situera plutôt aux alentours de 2-4g/kg/j ce qui représente un AET total de 20%, ceci étant possible sur une courte durée seulement. (33)

1.2.1.6 Régulation

La régulation de la glycémie est assurée principalement par les cellules β du pancréas qui vont produire deux hormones indispensables et complémentaires pour maintenir une homéostasie glycémique, de l'ordre de $0,7-1,1\text{g.mol}^{-1}$; il s'agit de l'insuline, hypoglycémiant, et du glucagon, hyperglycémiant.

D'autres hormones participent à cette régulation avec un pouvoir hyperglycémiant, il s'agit du cortisol, l'adrénaline et la noradrénaline.

1.2.1.7 Métabolisme

Le métabolisme du glucose est le seul capable de donner de l'énergie en l'absence d'oxygène. Certains tissus comme le cerveau ou les globules rouges dépendent étroitement du métabolisme anaérobie du glucose. D'autres tissus comme le muscle strié en dépendent occasionnellement comme lors d'un effort court et intense.

Le métabolisme du glucose est soumis à de nombreuses réactions dans l'organisme, nous ne rentrerons volontairement pas dans le détail de ces réactions car ceci n'est pas l'objectif de ce travail.

Il faut cependant avoir une idée générale du métabolisme glucidique pour bien comprendre la relation entre l'alimentation et l'activité physique et sportive qui en résulte.

En résumé, en post prandial l'organisme est en excédent d'énergie, il va donc opter pour la forme de stockage, on parle alors d'anabolisme. C'est la phase du métabolisme concernée par les biosynthèses, phase coûteuse en énergie et se traduisant par une consommation d'ATP.

Ainsi, lors d'un effort l'organisme sera en déficit d'énergie, il va donc favoriser la production d'énergie pour répondre à ce besoin : c'est le catabolisme. Cette phase correspond à la dégradation des molécules nutritives pour produire de l'énergie représentée par la formation d'ATP. (34)

1.2.1.7.1 Catabolisme glucidique

Il correspond à la dégradation des molécules de glucose permettant la formation de molécules riches en énergie. La première étape de la dégradation du glucose s'effectue dans le cytoplasme de la cellule et en condition anaérobie : il s'agit de la glycolyse.

1.2.1.7.1.1 *La glycolyse*

1.2.1.7.1.1.1 *Les différentes étapes*

La glycolyse correspond à l'oxydation du glucose après absorption et digestion de glucides. Elle est constituée de dix étapes et a comme fonction la synthèse de molécules dites énergétiques ainsi que la formation de pyruvate qui aura plusieurs destinées selon les conditions. (35)

1.2.1.7.1.1.2 *Bilan énergétique*

La synthèse du pyruvate est accompagnée de la formation de molécules riches en énergie : 2 ATP et 2 NADH qui permettront de produire chacun d'entre eux 2 ATP en condition aérobie. Le bilan final théorique est donc de 6 ATP.

La glycolyse est ainsi schématisée comme suit :

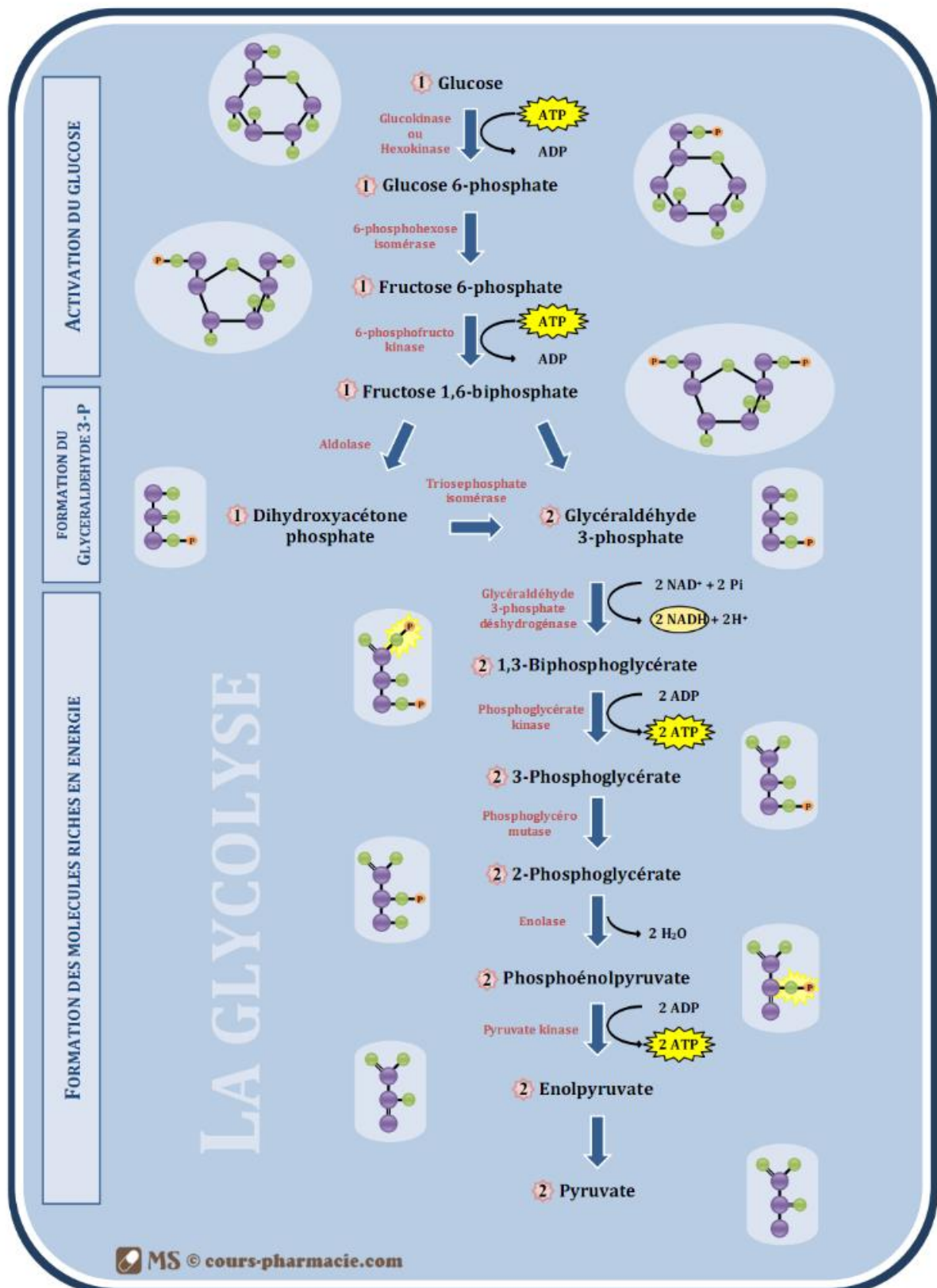


Figure 10-La glycolyse anaérobie (37)

1.2.1.7.1.1.3 Régulation de la glycolyse

La régulation de la glycolyse s'effectue au niveau des enzymes catabolisant les réactions et étant régulée par différents mécanismes : il y a une régulation par des effecteurs allostériques, une régulation par le système de phosphorylation/déphosphorylation et enfin par l'expression des gènes de ces enzymes.

1.2.1.7.1.2 Métabolisme du pyruvate

A partir d'une molécule de glucose, on obtient suite à la glycolyse 2 molécules de pyruvate dont le devenir dépendra des conditions d'oxygénation rencontrées dans l'organisme.

- en anaérobie, rencontrée dans un premier temps, le pyruvate sera transformé dans le cytosol en acide lactique ou lactate. Cette phase correspond à la voie anaérobie lactique vue précédemment.

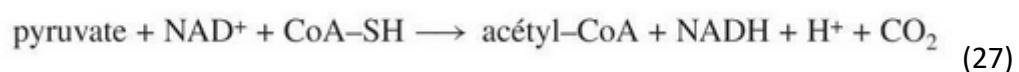
- si l'effort continue après environ deux minutes, l'oxygénation de la cellule est suffisante et en condition aérobie, cette fois, le pyruvate va poursuivre sa transformation mais dans la mitochondrie. Le pyruvate va ainsi former une molécule d'acétyl-coenzyme-A (AcoA), véritable carrefour métabolique, qui entrera dans le cycle de Krebs pour poursuivre sa transformation et aboutir à la formation de nombreuses molécules énergétiques.

Cette voie de production énergétique correspond à la voie aérobie alactique citée auparavant. Il est important de noter que cette voie n'est pas exclusivement réservée aux glucides, en effet après 10-20 min d'effort, les lipides y participent également en étant dégradés à leur tour en AcoA.

1.2.1.7.1.3 Cycle de Krebs

Le cycle de Krebs correspond à la plateforme énergétique de la cellule, se réalisant dans la matrice mitochondriale et en condition d'aérobie exclusivement. Il permet une dégradation progressive de la molécule d'AcoA issue de la glycolyse et permet la production d'énergie sous forme d'ATP et libération de CO₂ et d'eau. (27)

Le bilan de la réaction se résume ainsi :



Le cycle de Krebs est composé de neuf étapes et aboutit à la formation de 12 ATP par molécule d'AcoA transformée.

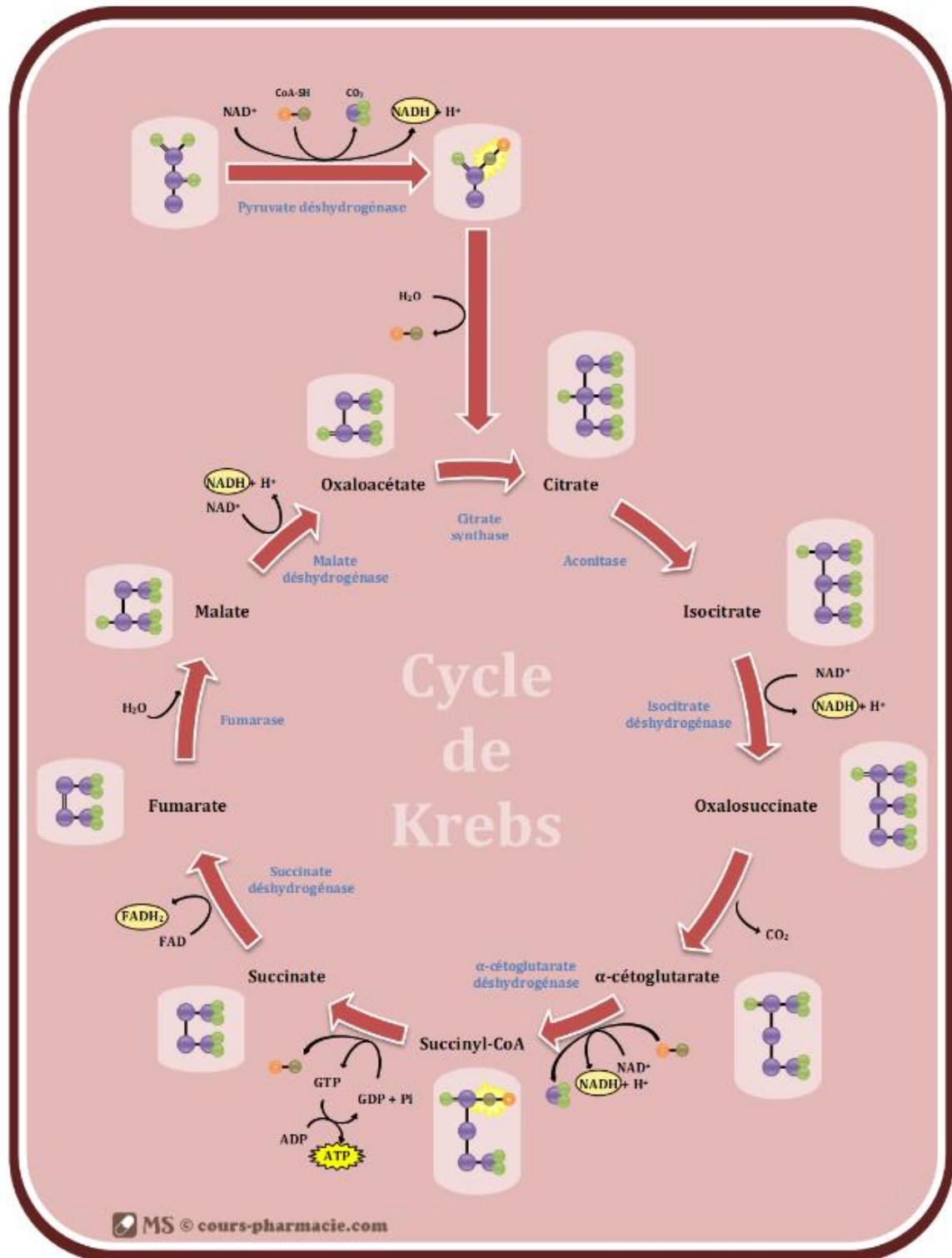


Figure 11-Le cycle de Krebs (37)

1.2.1.7.2 Bilan énergétique du catabolisme glucidique

-En anaérobie, le résultat obtenu est la formation seulement de 2 molécules d'ATP immédiatement utilisables.

-En aérobie, le bilan global théorique de la dégradation d'une molécule de glucose est de 38 molécules d'ATP formées mais non utilisables directement car ils sont issus pour la plupart de la phosphorylation oxydative, aussi appelée chaîne respiratoire.

1.2.1.7.3 Réserve glucidique

1.2.1.7.3.1 *Glycogénogenèse*

Elle correspond au stockage de glucose sous forme de glycogène dans le foie ou les muscles. Ce mécanisme est réalisé au niveau du cytosol et se met en place après un repas riche en glucides.

1.2.1.7.3.2 *Glycogénolyse*

Elle correspond à la réaction inverse de la glycogénogenèse, elle permet la formation de glucose-6-Phosphate et se réalise principalement dans le foie et les muscles, mais à des fins différentes.

En effet le foie est l'organe clé dans le maintien de l'homéostasie glucidique puisqu'il permet le stockage du glucose mais également sa libération dans le sang.

Les muscles vont stocker le glucose sous forme de glycogène en prévision d'une utilisation ultérieure et dégraderont ce glycogène lors d'un effort.

1.2.1.7.3.3 *Régulation du métabolisme*

La glycogénolyse et la glycogénogenèse sont des mécanismes inverses l'un de l'autre et sont régulés par des signaux en fonction des besoins de l'organisme : ainsi ces deux mécanismes ne peuvent pas fonctionner simultanément. (29)

Le glucagon et les catécholamines (adrénaline et noradrénaline) vont avoir des actions similaires sur le métabolisme glucidique, le glucagon agissant préférentiellement au niveau du foie et les catécholamines au niveau des muscles. Ils vont ainsi inhiber les voies d'utilisation du glucose, donc la glycogénogenèse et la glycolyse seront inhibées. A l'inverse la glycogénolyse et la néoglucogenèse seront déclenchées pour libérer du glucose.

L'insuline aura un effet inverse en favorisant cette fois les voies d'utilisation du glucose : ainsi la glycogénogenèse et la glycolyse seront déclenchées contrairement à la glycogénolyse et la néoglucogenèse qui seront inhibées.

1.2.1.7.4 Anabolisme glucidique

1.2.1.7.4.1 La néoglucogenèse

Cette étape est particulière puisqu'elle permet à l'organisme de produire des glucides et donc du glucose à partir de précurseurs non glucidiques issus du catabolisme des lipides du tissu adipeux et des protéines provenant des muscles essentiellement.

Ces précurseurs non glucidiques sont représentés principalement par les acides aminés (AA) (issus de l'hydrolyse des protéines) à hauteur de 45%, ensuite le lactate formé au niveau des muscles pour 30%, et enfin le glycérol issu du métabolisme des acides gras pour 25%. (33)

Elle est réalisée majoritairement dans le foie (le rein participe également) au niveau du cytosol et permet de fournir en permanence le glucose aux organes gluco-dépendants.

La néoglucogenèse est activée lors d'un jeûne prolongé, lorsque les stocks de glycogène sont épuisés et que les nutriments apportés par l'alimentation ne permettent plus de répondre aux besoins de l'organisme.

Le glucose joue donc un rôle prépondérant dans le métabolisme et permet de répondre aux différentes situations comme après un repas, lors d'un effort, ou bien encore lors du jeûne.

Mais tout ceci ne fait pas pour autant du glucose un nutriment essentiel. En effet, en cas d'alimentation restrictive en glucides, les protéines et les lipides peuvent être transformés en glucose.

1.2.2 Les lipides

Les lipides sont la deuxième source principale d'énergie pour l'organisme après les glucides. Ils interviennent pour les efforts de longue durée, la voie aérobie alactique va utiliser un mélange de glucides et lipides après 10-20 minutes d'effort, ils représentent le carburant de l'effort à long terme.

1.2.2.1 Présentation

On retrouve différentes structures dans la famille des lipides tels que les TG, les AG, les PPG, les stéroïdes, et les vitamines liposolubles A, D, E, K. Les lipides représentent entre 12-25% de la masse corporelle totale pour un individu sain et de morphologie normale.

Les triglycérides représentent la part la plus importante des lipides dans l'organisme, environ 75%, mais également dans l'alimentation où ils sont majoritaires (9)

1.2.2.2 Classification et structure des lipides

Les triglycérides sont la forme majoritaire des réserves lipidiques, on parle d'acylglycérol car ils sont composés d'une molécule de glycérol auquel est lié trois acides gras.

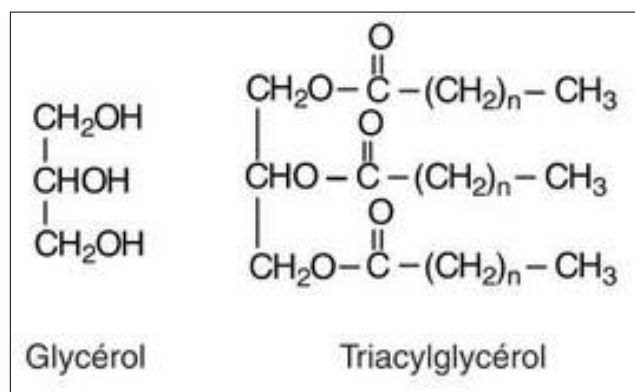


Figure 12-Structure d'un acide gras (27)

La molécule d'AG présente deux caractères physicochimiques importants : elle possède un groupement carboxyle COOH ce qui lui confère un caractère acide et donc polaire, et une chaîne hydrocarbonée hydrophobe. (28)

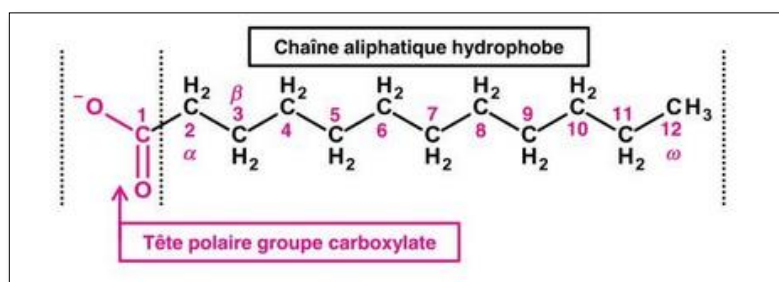


Figure 13-Propriétés physicochimiques d'un AG (28)

Ces acides gras peuvent être de trois types :

- Les AGS : ce sont des AG qui, au niveau de la structure chimique, ne présentent aucune liaison multiple entre les atomes de carbone.
- Les AGMI : ils présentent cette fois une double liaison entre deux atomes de carbone au sein de la molécule, il n'y a cependant qu'une seule liaison multiple, d'où le terme « monoinsaturé »
- Les AGPI : on retrouve plusieurs doubles liaisons entre deux atomes de carbone adjacents au sein de la molécule.

Parmi ces AG on retrouve des AG « essentiels » car l'organisme est incapable de les synthétiser mais sont présents dans l'alimentation, c'est pourquoi les lipides sont indispensables à la vie. Les plus importants sont les AG linoléiques (chef de file des oméga-6) et alpha-linoléniques (chef de file des oméga-3), appartenant aux AGPI. (36)

1.2.2.3 Rôles

- Rôle énergétique :

Le compartiment de réserve énergétique est constitué majoritairement par les triglycérides (75%) du tissu adipeux blanc ; ce tissu représentant 12 à 25% de la masse corporelle selon le sexe. Ces réserves énergétiques, particulièrement importantes pour le muscle squelettique, le muscle cardiaque et le foie, sont sollicitées en période interprandiale pour fournir l'énergie aux cellules. (25)

Pour rappel, 1g de lipides fournit 9kcal, soit l'équivalent d'environ 38kJ, c'est la principale source d'énergie en complément des glucides avec cependant un rendement supérieur, ainsi tout excès en lipides se traduira par un apport énergétique élevé. (25)

- Rôle structural :

Ils représentent avec le cholestérol les éléments constitutifs principaux des membranes cellulaires à tous les niveaux. Pour rappel, la membrane est formée par une bicouche lipidique essentiellement constituée de lipides complexes dont les phospholipides représentent une part importante d'environ 70-90%. (25)

- Rôle fonctionnel :

Les lipides ont également un rôle fonctionnel important, intervenant à différents niveaux de l'organisme : (37)

-Au niveau hormonal, on retrouve le cholestérol qui va subir différentes réactions enzymatiques pour donner les hormones stéroïdes, on peut ainsi citer la testostérone, ou l'œstrogène.

- Au niveau digestif également puisque les sels biliaires, synthétisés par le foie et stockés dans la vésicule biliaire et dont la fonction principale est de solubiliser les particules lipidiques après absorption d'un repas, sont fabriqués à partir de lipides et plus précisément à partir de cholestérol.

-Rôle dans l'inflammation :

Les lipides favorisent la synthèse des eicosanoïdes, constitués par les prostaglandines et les leucotriènes, et impliqués dans les processus inflammatoires vasculaires et immunitaires.

Les prostaglandines ont un rôle dans l'agrégation plaquettaire alors que les leucotriènes ont un rôle dans les mécanismes inflammatoires.

En résumé, les lipides de la série $\omega 6$ élèvent globalement le niveau de cytokines pro-inflammatoires alors que ceux de la série $\omega 3$ les diminuent, on a donc un rôle protecteur de ces derniers. Les acides gras sont ainsi essentiels à l'organisme.

1.2.2.4 Sources

Les lipides alimentaires sont apportés à la fois par les produits animaux tels que le poisson, les œufs, la viande mais également à partir des produits végétaux comme les oléagineux (noix, noisettes, amandes), les huiles (olive, colza, lin, noix, noisette) ou bien l'avocat. (38)

On retrouve ces AGS de façon abondante dans les viandes rouges mais également dans les produits laitiers non écrémés ainsi que les œufs. Les AGMI sont retrouvés dans l'huile d'olive, d'arachide, de noix, et les avocats. Les AGPI sont quant à eux retrouvés dans les huiles de maïs, de tournesol et de soja, mais également dans les poissons gras.

Tableau 5-Composition en lipides de quelques huiles végétales (en %) (32)

Huiles	AG saturés	AG mono-insaturés	AG polyinsaturés Oméga-6	AG polyinsaturés Oméga-3
Arachide	18,8	58	23	0,2
Colza	8,5	61,5	20	10
Germe de maïs	14,2	30	55	0,8
Noix	7	17	60	16
Olive	14	75	10	1
Palme	50	40	10	0
Pépin de raisin	10	17	72	1
Soja	15	24	54	7
Tournesol	12,5	22	65	0,5

1.2.2.5 Métabolisme des lipides

Les lipides sont stockés essentiellement sous forme de triglycérides dans le tissu adipeux par le phénomène de lipogenèse, et sont libérés sous forme d'AG libres dans la circulation pour fournir de l'énergie via le mécanisme de la lipolyse. (25)

1.2.2.5.1 Lipolyse

Le phénomène de lipolyse permet de diviser la molécule de triglycéride, qu'elle provienne de l'alimentation ou des adipocytes, et de libérer ainsi une molécule de glycérol et une molécule d'acide gras.

Le glycérol ainsi libéré va rejoindre la voie de la glycolyse si la production d'ATP est insuffisante, sinon il sera transformé en glucose grâce à la néoglucogenèse ou en glycogène. Les acides gras ainsi libérés passent dans la circulation sanguine et sont transportés vers les tissus grâce aux lipoprotéines pour être oxydés : c'est le mécanisme de β -oxydation, caractérisé par un catabolisme intracellulaire des AG et plus précisément intra-mitochondriale.

La lipolyse permet de fournir de l'énergie en réponse à une période d'effort prolongé ou en période de jeûne, elle se met en route pour des taux faibles en acides gras circulants.

1.2.2.5.2 Lipogenèse

Les voies de biosynthèse sont différentes des voies de dégradation : il y a une compartimentalisation des voies anaboliques par rapport aux voies cataboliques, en effet la synthèse des acides gras a lieu dans le cytosol et leur oxydation dans la mitochondrie.

De nombreux tissus sont capables de synthétiser les AG, mais elle se déroule préférentiellement dans le foie et le tissu adipeux à partir d'un précurseur commun : l'acétyl-coenzyme-A.

La lipogenèse de novo nécessite l'intervention de l'AcoA carboxylase et l'AG synthase permettant cette synthèse d'AG, ceci étant possible lorsque l'organisme est en excédent d'énergie : ainsi « *lorsque l'apport calorique alimentaire dépasse les besoins énergétiques, il existe une mise en réserve de ce surplus nutritionnel sous forme de triglycérides* ». (39) (29)

1.2.2.5.3 Catabolisme des lipides

Le catabolisme des AG est intracellulaire et plus précisément intra-mitochondriale, via le mécanisme de β -oxydation.

En fonction de la longueur de leur chaîne carbonée, les AG subiront ou non une transformation pour pénétrer dans la mitochondrie : les AG à chaîne courtes et moyennes (<12C) diffusant de manière passive dans la mitochondrie, les AG de plus de 20C vont subir une réduction de leur taille jusqu'à obtenir 12C et ainsi diffuser dans la mitochondrie.

Les AG doivent ensuite être activés sous forme d'acyl-CoA au niveau de la membrane externe mitochondriale, puis sont pris en charge par un transporteur d'acyl-CoA faisant intervenir la L-carnitine : une fois associé à la L-carnitine le complexe AG/L-carnitine pénètre dans la mitochondrie. La carnitine est alors régénérée et l'AG (sous forme acyl) sera par la suite transformé. (40)

Cette transformation intra-mitochondriale des AG correspond à la β -oxydation : phénomène qui va aboutir à la production d'AcoA, qui pourra ensuite intégrer le cycle de Krebs pour produire de l'ATP.

Pour exemple, l'acide palmitique, AG à 16 Carbones sera entièrement oxydé par le mécanisme de la lipolyse et β -oxydation, et produira 8 moles d'AcoA pour ainsi fournir 129 ATP : comparée à une mole de glucose oxydée par la glycolyse où l'on obtient 38 ATP, la production d'ATP est donc supérieure de 70%.

1.2.2.6 Régulation du métabolisme lipidique

L'étape principale permettant de réguler la β -oxydation est le contrôle du passage des AG dans la mitochondrie, ceci grâce aux transporteurs d'acylCoA faisant intervenir la carnitine. L'enzyme impliquée est la carnitine-palmityl-transférase I, localisée sur la membrane externe de la mitochondrie, elle catalyse l'étape d'engagement de l'AG dans le métabolisme énergétique, c'est donc l'enzyme clé de la β -oxydation.

L'insuline va également participer à la régulation du métabolisme lipidique puisqu'elle est à l'origine d'une inhibition de la lipolyse et stimule la lipogenèse en activant l'AcétylCoA carboxylase et donc augmente la biosynthèse des AG ; de plus elle favorise l'entrée du glucose dans les cellules et si l'organisme est en excédent d'énergie, ce glucose sera converti en triglycérides au niveau des adipocytes. (41)

Le glucagon aura un effet inverse sur le métabolisme des AG en inhibant via une réaction de phosphorylation l'AcoA carboxylase, le glucagon inhibe donc la β -oxydation mais également la lipogenèse ; il sera cependant activateur de la lipolyse. (42)

1.2.2.7 Apports et besoins en lipides

1.2.2.7.1 Dans la population générale :

Pour la population générale, les ANC pour les lipides et les acides gras en 2001 recommandaient un apport lipidique correspondant à 30-35% de l'AET, alors que l'*Institute of Medicine* des États-Unis préconisent un intervalle de référence pour les lipides compris entre 20-35%, ceci afin d'éviter un apport lipidique élevé se traduisant par une augmentation des apports énergétiques totaux et donc augmentant le risque de prise de poids et d'obésité. (43) (44)

Depuis l'ANSES a actualisé ces données et recommandent quant à eux un intervalle de 35-40% de l'AET sous forme de lipides, cet apport devant « *favoriser à la fois la couverture du besoin en AG indispensables et d'une part les besoins énergétiques, et la réduction du risque de maladies chroniques nutritionnelles* ». (31)

1.2.2.7.2 Chez le sportif :

Chez le sujet sportif, un apport compris entre 1,3 et 1,5g de lipides par kilo de poids de corps et par jour est recommandé afin que l'organisme fonctionne dans les meilleures conditions, et que les besoins en AG essentiels soient couverts, sans toutefois entraîner une prise de poids, ce qui serait contre-productif.

Pour chaque catégorie d'acides gras, on peut retenir les chiffres suivants chez le sportif : (9)

- AGS : 25-30% de l'apport lipidique total, donc pour un sujet de 70 kg cela équivaut à un apport compris entre 17,5 et 31,5g / jour.
- AGMI : 60% de l'apport lipidique total, soit un apport de 42-63g/j selon le même exemple.
- AGPI : 10-15% de l'apport lipidique total, avec 6g/J d'acide linoléique et 2-3g/j d'acide alpha-linolénique.

Le rapport $\omega 3/\omega 6$ devant être compris entre 3 et 5.

1.2.2.8 Interrelation glucides-lipides et activité physique

Dans le cadre de l'exercice physique, glucides et lipides sont utilisés comme substrats énergétiques : cependant plusieurs paramètres influencent la proportion du mélange G/L utilisé à l'effort. Il s'agit tout d'abord de la durée et de l'intensité de l'effort, des apports réalisés avant et pendant l'activité, et du statut hormonal.

La réserve de TG étant bien plus importante que celle du glycogène musculaire, le facteur limitant à l'effort sera le glycogène : l'organisme va donc économiser son stock de glycogène en augmentant la part des lipides utilisés à l'effort : on note ainsi une augmentation de la concentration et de l'activité des enzymes du métabolisme lipidique qui vont libérer des AG issus des triglycérides pour être ensuite oxydés au niveau musculaire, les plus faciles à oxyder par la lipase et ayant une meilleure affinité étant les $\omega 3$.

Tableau 6-Description du stock énergétique d'un individu « standard » (25)

Lipides	11 000 g soit 99 000 kcal
Glucides	80 à 100 g soit 320-400 kcal
- glycogène hépatique	300 à 400 g soit 1 200-1 600 kcal
- glycogène musculaire	
Protéines utilisables	4 680 g soit 18 720 kcal
ATP + PC	163 g soit 5,3 kcal

Les glucides fournissent une large part d'énergie, la quantité de glucose oxydé à l'effort dépendra de la fréquence, de la durée et de l'intensité de l'exercice, mais également du niveau d'entraînement des sportifs : ceci est également valable pour les lipides.

Ainsi plusieurs observations ont été faites lors d'études : (45) (46) (47)

- la part de glycogène augmente avec l'intensité de l'exercice.
- la part des lipides est maximale à 57% de VO_{2max} , puis diminue nettement à 72% de VO_{2max} .
- quand l'exercice se prolonge, la part de glycogène diminue alors que celle des lipides

augmente : seul l'exercice physique prolongé permettra d'obtenir une augmentation de l'oxydation lipidique.

- pour un même exercice, situé à 40% de $\text{VO}_{2\text{max}}$, la part des lipides augmente avec l'entraînement.

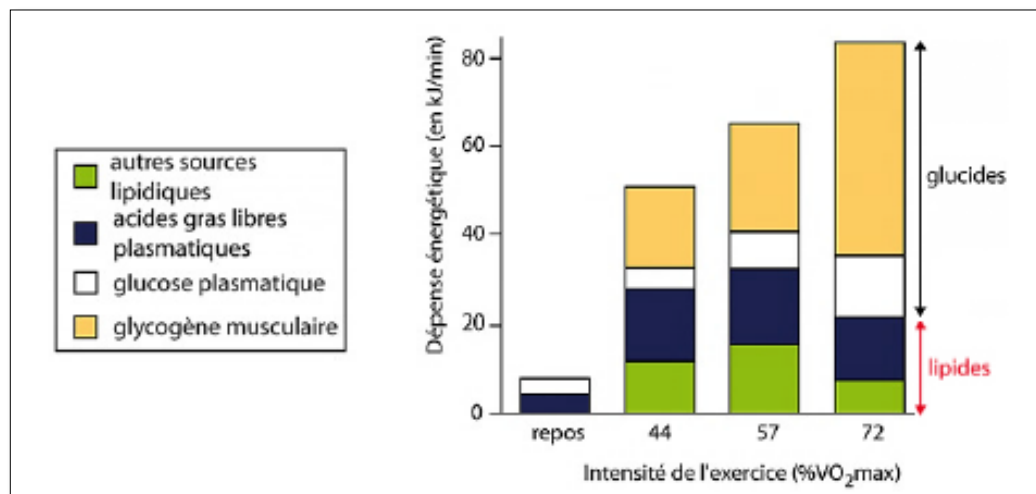


Figure 14-Dépense énergétique & intensité de l'exercice (22)

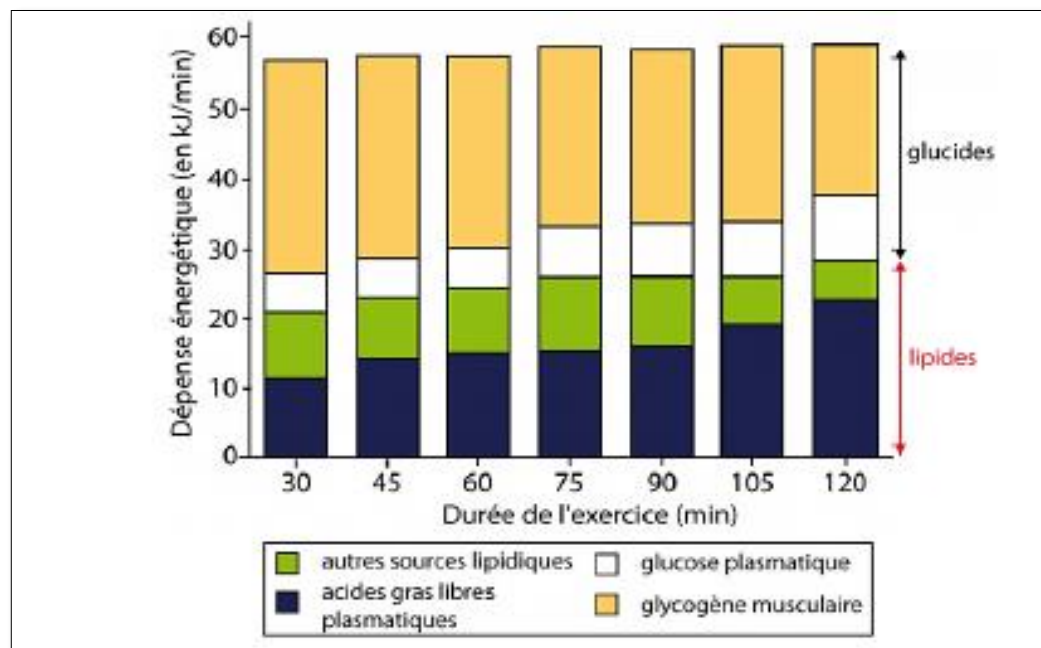


Figure 15-Dépense énergétique & durée de l'exercice (22)

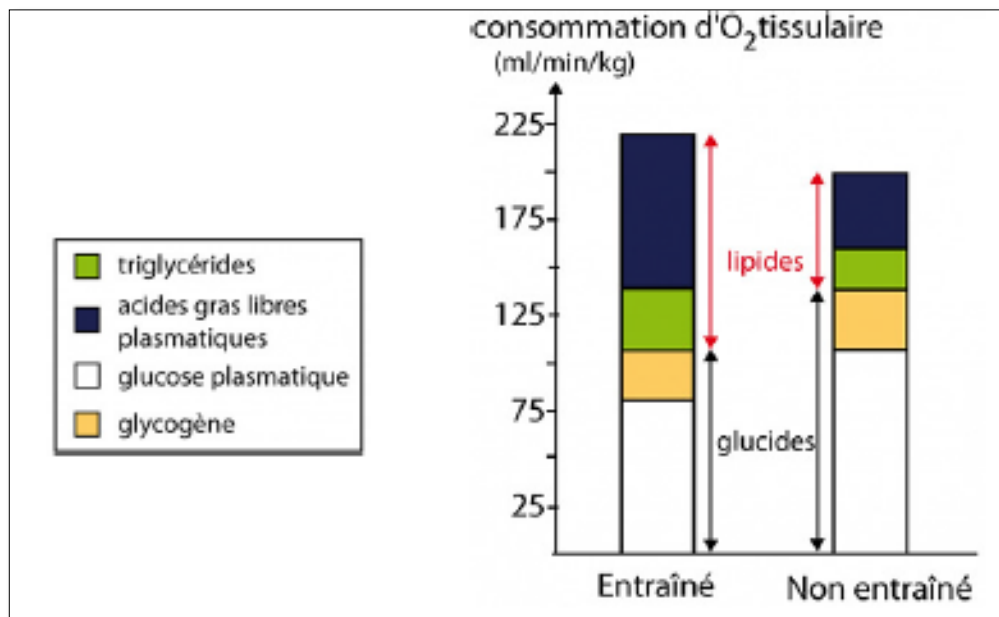


Figure 16-Dépense énergétique & entraînement (22)

La participation des glucides et lipides évolue donc en sens inverse, on parle de **concept de cross-over**, qui correspond à la balance énergétique de ces derniers à l'effort. (48)

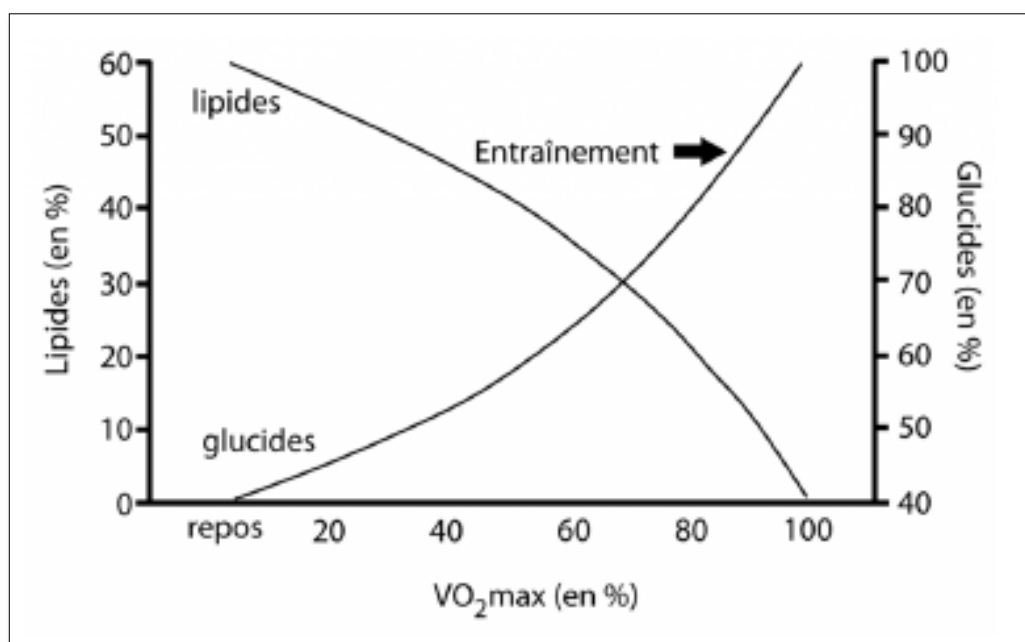


Figure 17-Crossover concept (22)

1.2.3 Les protéines

1.2.3.1 Présentation

Les protides sont des substances organiques azotées, comprenant une fonction amine NH_2 et une fonction carboxylique COOH .

Les protéines représentent le dernier type de macronutriment que l'organisme utilise, il s'agit de polymères fabriqués à partir de monomères : les acides aminés (AA). (49)

On retrouve vingt AA différents dans l'organisme, reliés entre eux par une liaison peptidique et l'assemblage de ces AA va constituer une séquence spécifique pour chaque protéine et est responsable des propriétés particulières de la molécule ainsi formée.

Chaque protéine possède donc sa propre structure, composée de quatre niveaux : la structure primaire correspondant à l'enchaînement des acides aminés, la structure secondaire correspondant à un arrangement non linéaire (en hélices ou en feuillets plissés), la structure tertiaire représentant une configuration spatiale complexe due aux repliements de la chaîne protéique sur elle-même, et enfin la structure quaternaire facultative représentée par l'assemblage de plusieurs chaînes polypeptidiques semblables ou différentes entre elles ; le tout permettant de remplir une fonction spécifique ; ainsi différentes activités sont assurées par les protéines. (49)

1.2.3.2 Rôles

Les protides (terme englobant les protéines, peptides et AA) représentent chez un adulte de taille moyenne 55-85% du poids sec de l'individu, quantitativement entre 10-12kg de protéines (soit environ 40 000kcal), ce sont donc des biomolécules très importantes. (50)

Les protéines assurent ainsi un grand nombre de fonctions essentielles pour l'organisme, en effet les protéines interviennent dans les réactions métaboliques au travers des enzymes en tant que catalyseurs, elles représentent également les éléments de structure apportant un support mécanique intracellulaire (exemple de l'actine et la myosine) et extra cellulaire (collagène et élastine), permettant ainsi les mouvements biologiques assurées par ces unités contractiles.

Le rôle du transport sanguin est assurée par les protéines, nous pouvons citer l'albumine, protéine plasmatique la plus abondante, qui permet le transport de certaines vitamines et des AG libres ou bien les lipoprotéines assurant le transport du cholestérol ; de façon non exhaustive nous pouvons ajouter le rôle des protéines dans la signalisation hormonale, insuline et glucagon en tête ; dans la défense de l'organisme au travers des anticorps, et enfin comme activateurs de gènes permettant des fonctions régulatrices nombreuses et diverses. (49) (28)

En outre, les protéines, au même titre que les glucides et lipides, peuvent également contribuer à l'apport énergétique, avec cependant une utilisation limitée atteignant 8 à 10% : de même que pour les glucides 1g de protéines apporte 4kcal. (51)

1.2.3.3 Régulation

La régulation du métabolisme des protéines est majoritairement hormonale, même si la possibilité d'une régulation dite nutritionnelle, c'est-à-dire par les substrats eux même est possible.

Les hormones pouvant ainsi favoriser un gain protéique sont dites anabolisantes, contrairement à celles favorisant la perte protéique et dites catabolisantes. (52)

1.2.3.3.1 Hormones anabolisantes

1.2.3.3.1.1 L'insuline

L'insuline, protéine constituée de 51 AA et sécrétée par les cellules bêta du pancréas, permet d'augmenter la synthèse protéique en stimulant la transcription et la traduction au niveau cellulaire, mais également grâce à une inhibition de la protéolyse ; ce qui se traduira par une augmentation de la masse musculaire. C'est pourquoi l'insuline est parfois utilisée de façon illicite par les pratiquants de musculation pour augmenter leur masse musculaire.

1.2.3.3.1.2 L'Hormone de croissance

L'hormone de croissance, aussi appelée GH pour *Growth Hormone* stimule la synthèse protéique de façon directe mais également par l'intermédiaire de facteurs de croissance. Elle permet donc d'éviter la fonte musculaire d'où son utilisation illégale dans les milieux sportifs pour augmenter la masse musculaire.

1.2.3.3.1.3 Les Catécholamines

Les catécholamines ont longtemps été classées parmi les hormones catabolisantes mais il est bien démontré aujourd'hui que ces dernières sont anabolisantes vis-à-vis du métabolisme protéique en réduisant la protéolyse ou bien en augmentant la synthèse protéique. On retrouve l'utilisation des catécholamines pour leurs propriétés anabolisantes via l'utilisation du clenbutérol (β 2agoniste), également retrouvé dans les milieux sportifs en vue d'une utilisation illégale.

1.2.3.3.2 Hormones catabolisantes

1.2.3.3.2.1 Les Glucocorticoïdes

Ils augmentent la protéolyse musculaire et inhibent la traduction des protéines, ce qui se traduit par une fonte musculaire.

1.2.3.3.2.2 Le Glucagon

La participation du glucagon dans la régulation du métabolisme protéique est contestée mais on peut cependant noter un effet catabolisant prédominant au niveau musculaire.

1.2.3.4 Métabolisme des protéines

A l'inverse des glucides et des lipides, il n'y pas de forme de réserve pour les protéines, ainsi il y a un pool d'AA dans l'organisme devant rester stable donc l'organisme va réguler ces taux de protéines via différents mécanismes.

Malgré leurs structures et fonctions très variables, toutes les protéines ont en commun une propriété, leur renouvellement permanent : en effet la masse protéique est renouvelée à une vitesse d'environ 300g/j en moyenne. (33)

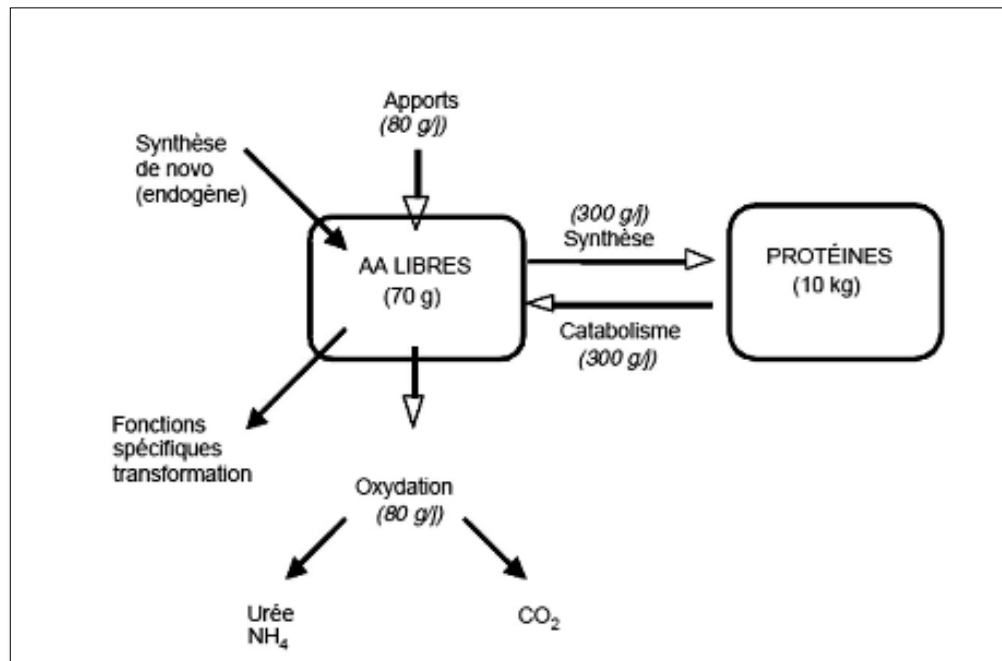


Figure 18-Schéma général du métabolisme protéique chez l'homme (52)

Les protéines seront assimilées et utilisées sous forme d'AA de différentes façons :

- Soit libres dans le sang = le pool d'AA est directement utilisable par les cellules suite à la digestion ou suite à la protéolyse.
- Soit servant à la synthèse protéique en contribuant à la régénération musculaire après un effort intense.

Le maintien de la masse des protéines corporelles résulte donc de l'équilibre entre les phases d'anabolisme et catabolisme dépendant des apports alimentaires et de l'activité sportive pratiquée.

Après digestion et absorption des protéines, il y aura action d'enzymes au niveau de l'estomac et de l'intestin (protéases) dégradant les protéines en AA et oligopeptides, ces AA seront par la suite intégrés au métabolisme pour répondre aux besoins de l'organisme via la néoglucogénèse principalement et dans une moindre mesure via la cétogénèse. (49)

1.2.3.4.1 Néoglucogénèse :

Elle correspond à la formation de glucose/glycogène à partir de précurseurs non glucidiques. Les substrats utilisés par le foie durant l'exercice sont le lactate/pyruvate (les deux étant facilement réversibles l'un-l'autre), les AA et plus particulièrement l'alanine, et enfin le glycérol. (53)

1.2.3.4.1.1 Relation lactate-pyruvate

Le lactate à l'exercice provient de la dégradation du glycogène et du glucose musculaire à travers la formation du pyruvate qui sera transformé en lactate. Ce dernier sera ensuite transporté dans le foie et retransformé en pyruvate pour donner du glucose : ce mécanisme de « récupération » du lactate comme fournisseur de glucose correspond au cycle de Cori.

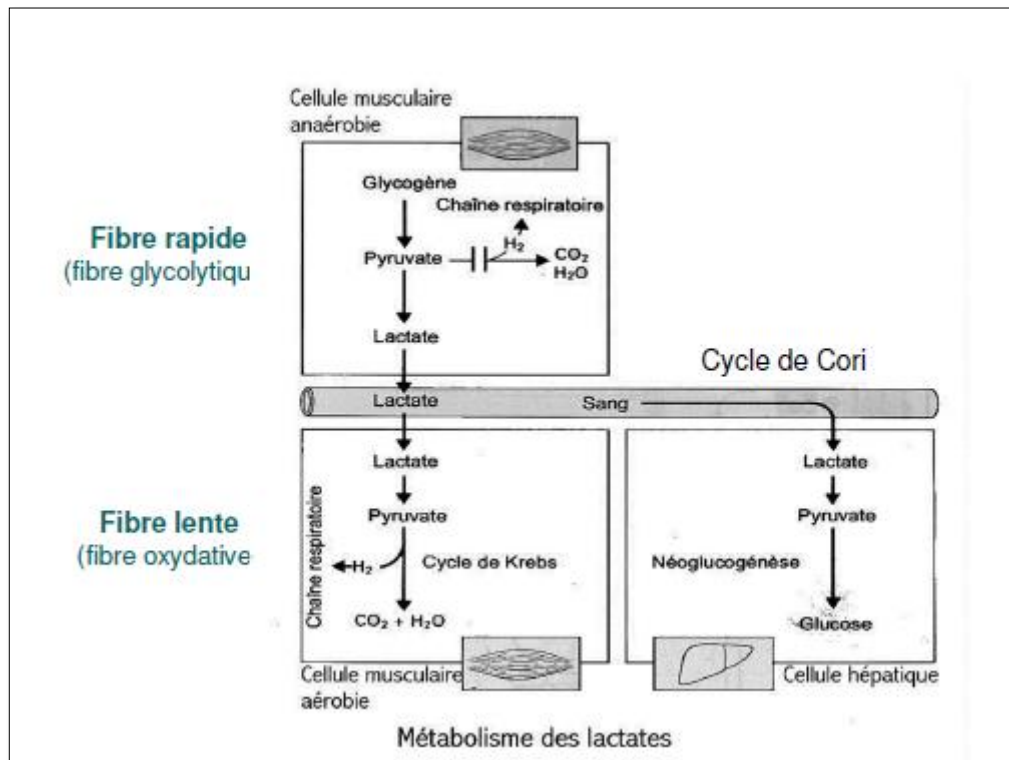


Figure 19-Métabolisme des lactates (22)

Le lactate pourra être oxydé dans différentes cellules et non uniquement à partir des muscles actifs, ainsi les muscles non actifs peuvent augmenter leur réserve totale de glucides à l'exercice.

1.2.3.4.1.2 Le cycle alanine-glucose

Durant un effort intense et si les réserves en glycogène ne satisfont pas les besoins, il peut y avoir participation des protéines et donc des AA dans la fourniture énergétique en produisant des intermédiaires de la glycolyse et/ou du cycle de Krebs pour produire du glucose.

Ces acides aminés sont ainsi appelés acides aminés glucoformateurs, on retrouve à titre d'exemple l'alanine et la glycine donnant le pyruvate (intermédiaire de la glycolyse), ou encore le glutamate et l'arginine donnant l'alpha-cétoglutarate (intermédiaire du cycle de Krebs).

D'autres AA aboutissent également à la formation de l'AcoA, molécule centrale du métabolisme puisque la dégradation des protéines, mais également celle des lipides et glucides peuvent aboutir à la formation de ce dernier : **il y a donc une interrelation entre les différents métabolismes.**

La désamination des AA va donc libérer des groupements amines NH_2 qui seront transformés en ammoniac, puis éliminés par les reins sous la forme d'urée.

L'alanine est l'acide aminé principal dans la néoglucogenèse, en effet il s'agit du premier acide aminé libéré par les muscles actifs dans le milieu sanguin à l'exercice via une production élevée de pyruvate intramusculaire. L'alanine est ensuite transportée jusqu'au foie où elle sera convertie en pyruvate puis en glucose : ceci correspond au cycle glucose alanine.

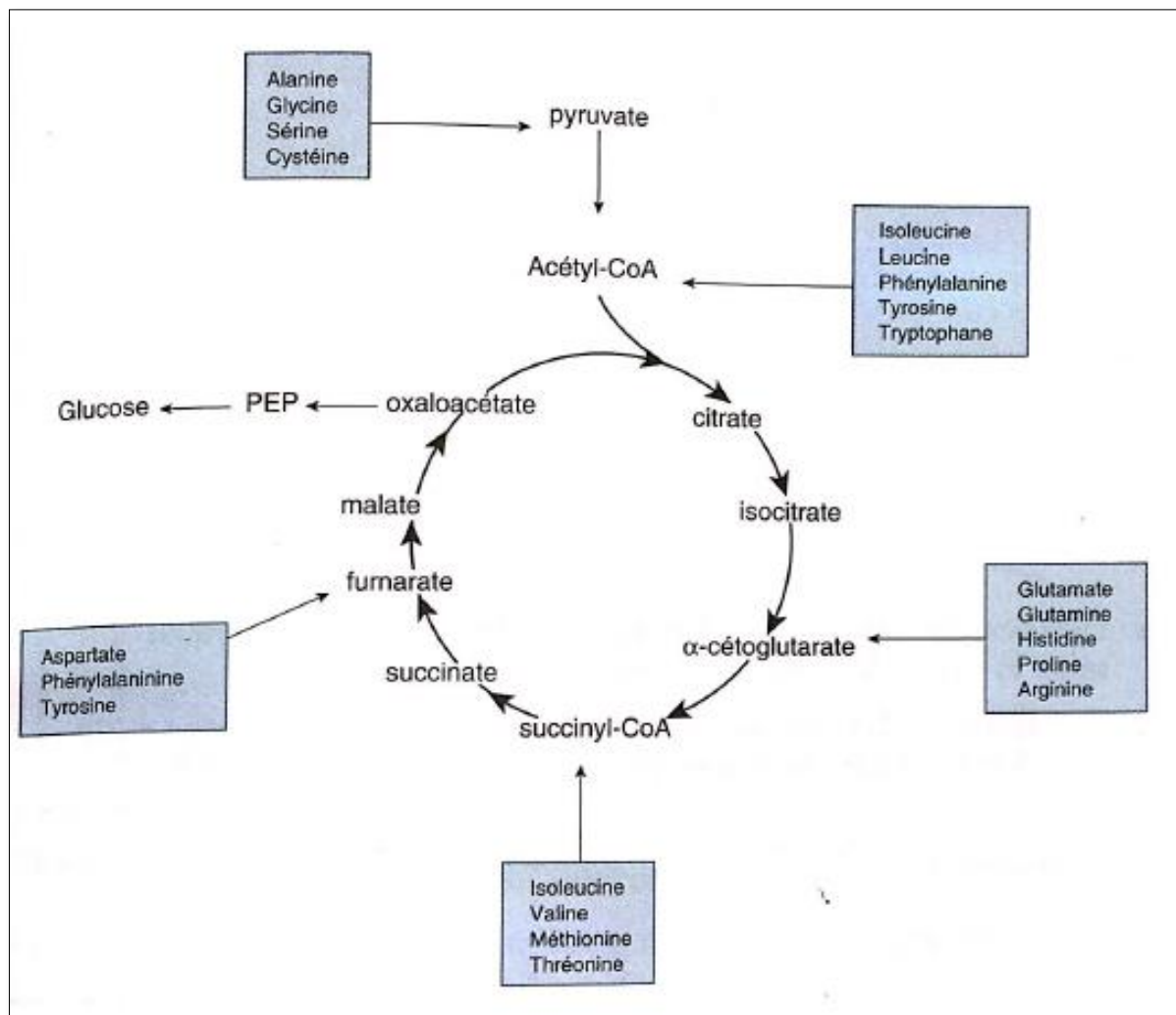


Figure 20-Oxydation des acides aminés au niveau hépatique (25)

1.2.3.4.1.3 Le glycérol

Le dernier précurseur permettant la production de glucose est le glycérol, issu du catabolisme lipidique correspondant à la lipolyse adipocytaire et musculaire.

1.2.3.4.2 Cétogenèse :

La cétogenèse est une étape particulière du catabolisme, elle correspond à la synthèse de corps cétoniques que sont l'Acétoacétate, le 3- β -hydroxybutyrate et l'Acétone : ces corps cétoniques sont formés à partir de l'AcoA, provenant du métabolisme des AG mais également à partir des AA appelés « cétoformateurs » comme la leucine et la lysine. (27)

La synthèse de ces corps cétoniques est hépatique et mitochondriale, elle intervient lorsque le cycle de Krebs n'est plus fonctionnel, caractérisé par un déficit en pyruvate et oxaloacétate : les AcoA ne peuvent donc être utilisés et vont ainsi former ces corps cétoniques.

La cétogénèse est notamment augmentée lors de situations particulières comme le jeûne (où la néoglucogénèse et la lipolyse sont activées) ou lors du diabète avec un défaut d'utilisation du glucose. (25)

1.2.3.5 Protéines et activité physique

Lors d'un effort physique bref et intense, la concentration plasmatique en AA est susceptible d'augmenter légèrement, cependant si l'exercice se prolonge la concentration en AA diminue.

Les AA, après désamination ou transamination dans le foie ou muscle squelettique, seront ensuite oxydés via le cycle de Krebs et ainsi produire de l'énergie. Les AA seront intégrés au cycle de Krebs via différents intermédiaires et en particulier celui de l'AcoA, véritable carrefour métabolique.

Cependant tous les AA ne peuvent être utilisés à des fins énergétiques, les acides aminés ramifiés représentés par la leucine, l'isoleucine et la valine seront préférentiellement utilisés et dans une moindre mesure l'acide glutamique et l'acide asparagique. (54)

Lors d'un exercice prolongé, le niveau d'oxydation des AA sera conditionné par la disponibilité des autres substrats énergétiques et notamment les glucides, représenté par la disponibilité en glycogène ; dans le cas contraire où les réserves glucidiques sont épuisées, la participation du métabolisme protéique sera augmentée, ce qui peut aboutir à une protéolyse musculaire.

Un apport protéique alimentaire adapté est alors nécessaire pour combler ce risque de protéolyse.

1.2.3.6 Apports et besoins en protéines

1.2.3.6.1 Dans la population générale

Les apports nutritionnels conseillés (ANC) en terme d'apport protéique varient peu, l'ANSES recommande pour la population générale un apport compris entre 0.8-1g/kg de poids de corps par jour, soit l'équivalent de 10-20% de l'AET. Cet apport protéique se doit d'être de bonne qualité, en apportant tous les AA indispensables en quantité suffisante afin de couvrir les besoins de l'organisme. (31)

1.2.3.6.2 Chez le sportif

Les besoins protéiques chez le sportif sont compris entre 1,2-2 g/kg de poids de corps par jour en moyenne, cet apport pouvant varier en fonction de l'activité musculaire.

Chez le sportif de force ces taux peuvent augmenter jusqu'à atteindre 2-3g/kg/j en vue d'une hypertrophie musculaire, toutefois ces taux apportant plus de 2g/kg de poids de corps ne devraient pas excéder six mois par an : les données de la littérature établissent que la capacité maximale d'uréogénèse et donc de l'activité rénale est atteinte pour une valeur de 3,5g de protéines/kg/j. (43)

1.2.3.7 Sources

Une alimentation équilibrée satisfait à ces besoins protéiques, à condition d'avoir des sources de protéines lors de chaque repas ; ainsi toute source de protéines doit être comptabilisée. Les protéines animales, provenant pour la plupart des poissons, de la viande, des œufs et du lait sont dites complètes car contiennent tous les AA, au contraire des protéines végétales qui en contiennent en moyenne seulement 40% et où certains AA essentiels sont moins bien représentés.

C'est le cas par exemple des légumineuses riches en lysine mais pauvres en acides aminés soufrés comme la méthionine et la cystéine ; mais également des céréales où le rapport est inversé : les céréales sont riches en acides aminés soufrés mais pauvres en lysine. (51)

Les protéines peuvent être également apportées de façon supplémentaire par l'utilisation des CA, notamment chez les sujets sportifs : ce sont les poudres de protéines, que nous traiterons de façon détaillée plus tard.

1.3 Nutrition et musculation

Dans ce paragraphe, nous traiterons de l'alimentation du sportif en musculation mais nous n'aborderons pas l'alimentation du sportif de haut niveau, notamment en compétition, car celle-ci doit être prise en charge par un spécialiste et nécessite un schéma alimentaire adapté et très précis.

Il faut avoir à l'esprit que l'alimentation du sportif en musculation ne diffère que très peu de l'alimentation pour tous, ainsi si l'on se base sur les ANC les apports seront presque similaires. Pour cela, on peut appliquer le modèle de la pyramide alimentaire d'inspiration crétoise et permettant de subvenir aux besoins de l'organisme de manière optimale. (25)

De façon générale, une séance de musculation va faire intervenir deux paramètres que sont la force et l'explosivité, qui vont épuiser le stock d'énergie et contraindre le muscle à diverses sollicitations intenses. Pour pallier cette dépense conséquente, on peut schématiser l'apport alimentaire du sportif en musculation avec une moyenne de cinq repas, à savoir les trois principaux repas de la journée plus des collations ; le tout étant articulé autour de l'entraînement.

Pour atteindre les objectifs liés à la nutrition, l'évaluation de la distribution des nutriments au cours de la journée est importante, en particulier avant, pendant et après l'exercice.

1.3.1 Diététique de l'entraînement

La nutrition autour de l'entraînement sera variable en fonction de l'intensité et de la durée de l'effort, mais on retrouve une base sur laquelle se reposer. (38)

1.3.1.1 Avant entraînement

Boire avant l'exercice est la première des règles à suivre pour un bon entraînement, cela permet d'obtenir un équilibre hydrique optimal et de ne pas être en déficit suite à l'entraînement précédent. Il faut cependant 8 à 12h pour se réhydrater complètement, il faudra donc commencer par s'hydrater plusieurs heures avant la séance, à raison de 5-7ml d'eau par kilo, et ainsi avoir du temps pour éliminer l'excès hydrique avant de commencer l'entraînement.

Avant un effort, il convient d'apporter à l'organisme l'énergie nécessaire à la réalisation de l'exercice, cet apport se faisant par l'alimentation lors du repas ou bien lors d'une collation ; ainsi plusieurs avantages apparaissent :

- cet apport permet de prévenir une hypoglycémie, se caractérisant par des symptômes tels que vertiges, troubles de la vision, fatigue, etc. et qui peuvent nuire aux performances.
- il permet de soulager l'estomac en absorbant une partie des sucs gastriques et permet également de calmer la sensation de faim pouvant apparaître parfois lors de l'effort.
- il permet d'alimenter les muscles en glycogène grâce aux glucides apportés à l'avance et aux glucides ingérés en début d'exercice qui passent dans le sang et alimentent le cerveau.
- enfin, cela améliore l'entraînement car l'intensité de l'effort pourra être augmentée et ainsi brûler plus de calories en retour, ce qui peut être avantageux en vue d'une perte de poids.

Choisir les bons aliments pour éviter les troubles intestinaux est une règle importante à suivre, les choix alimentaires avant entraînement dépendent du type d'activité exercée mais également de la personne, selon ses préférences alimentaires.

En musculation, la majorité des exercices ne durent que quelques minutes au total, avec cependant une intensité relativement élevée ; par conséquent les séances de musculation en général ont une durée d'environ 60-90min, et pour ce type d'effort il est préférable d'opter pour les glucides avant effort car ils sont rapidement assimilés et métabolisés par l'organisme en comparaison des protéines et lipides et seront donc rapidement utilisables par les muscles. Il convient donc de s'alimenter 3-4h avant un entraînement, et parfois même juste avant avec bien sûr une adaptation des apports alimentaires.

Tableau 7-Objectifs indicatifs d'alimentation avant effort (38)

Temps avant l'exercice	Glucides (g/kg de masse corporelle)	Calories (kcal) (pour un athlète de 68 kg)
4 heures	4	1 200
2 heures	2	600
50-60 minutes	1	300

A titre d'exemple, avant effort il faut au moins 1g/kg de poids de corps soit 4kcal de glucides par kilo dans l'heure qui précède le début de l'entraînement, cela correspond pour une personne de 70kg à environ 300 calories.

Il est nécessaire de rappeler aux sportifs de ne pas s'entraîner à jeun car durant la nuit le stock de glycogène hépatique est consommé pour maintenir l'homéostasie glycémique, et ceci nuira à l'entraînement, l'idéal étant au minimum d'avoir un apport d'environ 100kcal avant l'effort. (38)

1.3.1.2 Pendant entraînement

Pendant l'effort, s'hydrater prévient l'apparition d'une déshydratation excessive, correspondant à plus de 2% de la masse corporelle suite à un déficit hydrique.

Selon l'intensité et la durée de l'entraînement, il conviendra d'adapter au mieux son hydratation, le plus simple étant de s'hydrater à intervalle régulier, environ 250mL toutes les 20min.

Les boissons sportives sont à utiliser pendant l'effort, après elles sont inutiles.

Les crampes, caractérisées par des douleurs aiguës au niveau musculaire, apparaissent lorsque les muscles sont épuisés, on note cependant d'autres facteurs déclenchants comme une condition physique insuffisante, une déshydratation ou bien un désordre électrolytique.

Attention à la prise de glucides à IG élevé avant l'effort, ils vont apporter de l'énergie rapidement mais en contrepartie ils vont produire un pic important d'insuline, ce qui engendre une hypoglycémie en réaction, caractérisée par « le coup de pompe » dès les premières minutes de l'effort.

Cependant, un apport de glucides à IG élevé pendant la séance peut avoir un intérêt en musculation s'il est pris tout au long de la séance (toutes les 20-30min). En effet l'insuline sécrétée permet une meilleure pénétration du glucose dans les cellules musculaires et ainsi lutter contre la déplétion de glycogène, les glucides fournissant près de la moitié de l'énergie lors d'un exercice d'intensité moyenne ou forte.

Trop de glucides peuvent cependant causer un ralentissement de la digestion et ainsi « peser sur l'estomac ».

Les apports alimentaires vont donc varier selon l'activité pratiquée, selon son intensité mais également selon sa durée comme illustrée sur le tableau ci-dessous.

Tableau 8-Suggestions d'alimentation pendant un effort (38)

Type d'exercice	Apport en glucides pendant l'exercice	Exemples
< 45 min : entraînement en salle de gym	Rien d'autre qu'une collation avant l'exercice	De l'eau, en cas de soif
de 1 à 2 h 30 : match de football, semi-marathon, natation	30-60 g de glucides/heure (120-240 kcal/h) après 60 min (une collation avant l'exercice alimente la première heure)	Boissons sportives, gels, banane, ananas séché, quartiers de pomme séchée, bonbons, bretzels
> 2 h 30, intensité faible à moyenne : randonnée, sortie à vélo d'une journée, marathon marché	Selon l'appétit, au moins 30 g de glucides/heure (120 kcal/h)	Cake à la banane, mélange de fruits secs, wrap au houmous, tout aliment facile à digérer
> 2 h 30, intensité moyenne à forte et constante : marathon, course d'obstacles, triathlon	60-90 g de glucides/heure (240-360 kcal/h) de sources variées (un apport plus important produit de meilleures performances)	Boissons sportives, gel, barres d'énergie, biscuits et bonbons ; aliments classiques, si tolérés, pour les glucides, les protéines et la variété du goût : wrap au miel et beurre de cacahuète, lait au chocolat, bœuf séché, fromage

1.3.1.3 Après entraînement

Suite à un effort intense, l'objectif principal est de remplacer les pertes hydriques, correspondant aux fluides et électrolytes éliminés par la sueur principalement ; il faudra donc boire régulièrement de petits volumes plutôt que boire de grands volumes en une fois : cela est préférable pour l'organisme car améliore la rétention d'eau.

Il convient de noter que boire 50% de plus que les pertes sudorales permettent d'accélérer la récupération de l'organisme, en pratique pour estimer les pertes sudorales il suffit de se peser avant et après exercice et la différence de poids correspond au volume hydrique éliminé durant l'effort.

Après l'effort, les aliments consommés vont influencer sur la récupération ; les muscles par exemple assimileront plus facilement les protéines présentes dans le sang pour reconstituer la masse musculaire et absorberont également plus efficacement les glucides afin de restaurer le stock de glycogène.

En effet, comme lors de l'exercice, un apport de glucides stimulera la production d'insuline et transportera les glucides vers les muscles pour rétablir les réserves de glycogène.

De plus, cette réaction est d'autant plus efficace et est accentuée s'il y a ingestion de protéines (10-20g) associée aux glucides, ceci permet également de réduire le taux de cortisol, néfaste pour l'organisme car catabolise le tissu musculaire.

Une meilleure récupération passe par une meilleure alimentation post-entraînement : 1g de glucides et 0,2 à 0,4g de protéines/kg, consommés à 30 min d'intervalle pendant 4h ou jusqu'au repas suivant, cela nécessite de consommer trois fois plus de glucides que de protéines : l'idéal serait donc d'articuler les séances de musculation juste avant un repas contenant les quantités citées auparavant. (38)

Il y a une période déterminée après l'effort (jusqu'à 2h post-effort) où l'absorption des nutriments est maximale, cette période est communément appelée la fenêtre de récupération. L'utilisation de cette fenêtre métabolique est majeure car elle permet de restaurer rapidement le stock de glycogène (80% du stock restauré en moins de 24h). (55)

1.3.2 Prise de masse

1.3.2.1 Définition

La prise de masse est par définition une étape en musculation consistant à augmenter sa masse musculaire via une augmentation des apports énergétiques. Cette prise de masse se veut qualitative, ainsi la prise de masse grasse se veut la plus faible possible. (33)

1.3.2.2 Intérêts

La prise de masse est un des premiers objectifs de la musculation, que ce soit dans un but sportif pour une compétition par exemple ou dans un but personnel dans une optique d'esthétique et d'entretien.

La prise de masse peut également s'avérer utile en vue d'un gain de force.

1.3.2.3 En pratique

Tout est question de balance, pour augmenter sa masse (et plus particulièrement musculaire), il faudra être en excès calorique par rapport aux dépenses et ainsi obtenir un gain de poids. Il faut cependant veiller à respecter une alimentation équilibrée et respectant les principes de nutrition sous peine d'avoir pour résultat une prise de masse grasse plutôt qu'une prise de masse maigre. En effet, l'excédent de glucides et les excès en lipides vont favoriser la lipogenèse et ainsi mettre le tout en réserve sous la forme de triglycérides dans le tissu adipeux. (25)

Quelques règles sont à respecter pour effectuer une prise de masse qui se veut « propre » :

- calculer sa dépense énergétique totale DET et augmenter les apports de 10% au-delà des besoins estimés par la DET.
- avoir un apport en protéines satisfaisant, pour une prise de masse ils seront de l'ordre de 1,6-2g/kg de poids de corps ; choisir des sources de protéines de bonne qualité et maigres de préférence comme les viandes blanches tels que le poulet ou la dinde, les poissons tels que le colin ou cabillaud, avec toutefois 1-2 fois par semaine la prise de poissons gras pour l'apport en AGPI ; sans oublier les œufs et les laitages.
- de même un apport en glucides est indispensable, comme vu auparavant, pour la contraction musculaire ; les besoins sont de 4-7g/kg de poids de corps en fonction des besoins et de l'intensité des entraînements. La règle qui prédomine dans le choix des glucides se fait selon leur IG, il est donc important de choisir des aliments avec un IG moyen voire bas, en favorisant les aliments complets et non transformés et de limiter l'apport en sucres rapides néfastes pour l'organisme.
- l'apport lipidique est quant à lui estimé à 1-2g/kg de poids de corps, ces apports devant être couverts par les bonnes graisses et donc limiter celles non indispensables ; choisir des sources de qualité telles que les huiles d'olive ou de colza, ainsi que les oléagineux comme les amandes et les noix.
- les besoins en vitamines et minéraux sont couverts par une alimentation équilibrée associant les fruits et légumes aux glucides, lipides et protéines.

- s'hydrater régulièrement est indispensable, avec un apport de 1,5L jusqu'à 3L en période d'efforts. Une perte de 1% de son poids de corps diminue les capacités physiques de 10%, le sportif a donc tout intérêt à garder un équilibre hydrique pour optimiser ses performances.

Tableau 9-Exemple de répartition type à adapter en période de prise de masse (24)

Objectifs	Besoins en énergie totale	Besoins en protéines	Besoins en lipides	Besoins en glucides
Prise de masse	+ 10 % de sa DET au départ puis par paliers de 250 à 500 kcal	1,6 à 2 g/kg de poids de corps	1 à 2 g/kg de poids de corps	4 à 7 g/kg de poids de corps ou à déduire après calcul des protéines et lipides

1.3.3 Phase de « Sèche »

1.3.3.1 Définition

La deuxième étape qui suit la prise de masse est communément qualifiée de phase de « sèche », cette phase a pour but de réduire la masse grasseuse tout en gardant au maximum la masse musculaire acquise lors de la phase précédente. (56)

1.3.3.2 Intérêts

L'intérêt est plus particulièrement prononcé pour les sportifs culturistes en compétition, où l'on va juger de l'aspect physique et de la symétrie des muscles, ils doivent donc être le plus visible possible : ainsi en compétition on observe des taux allant de 4-6% de masse grasse seulement, ce qui n'est possible en pratique que sur quelques jours.

L'aspect esthétique est également important pour les sportifs occasionnels puisque l'objectif est d'avoir un physique défini avec des muscles dessinés, ainsi cette étape est majoritairement effectuée à l'approche des beaux jours.

1.3.3.3 En pratique

Pour « sécher » et donc perdre du poids, il faut être en déficit calorique par rapport à son métabolisme basal, tout en maintenant la masse maigre ; il faudra donc là aussi tenir compte de certaines règles pour effectuer au mieux cette période de « sèche », qui peut être parfois contraignante si poussée à l'extrême : (33)

- calculer sa DET et réduire progressivement le nombre de calories ingérées, une baisse d'environ 250-500 kcal, tout en gardant un minimum de 2000 kcal/j pour les hommes et 1600-1800 kcal/j pour les femmes. (31)
- ne pas baisser trop vite ses apports sous peine d'obtenir l'effet inverse que celui souhaité, en effet si l'on va trop vite on va orienter le métabolisme à puiser dans les réserves musculaires pour apporter de l'énergie grâce à la néoglucogenèse : on obtiendra ainsi une fonte musculaire.
- les apports en protéines sont liés à l'activité physique et servent à préserver la masse musculaire, ainsi les apports en « sèche » seront sensiblement identiques qu'en prise de masse. On a donc un apport de 1.5-2 g/kg de poids de corps, en se basant sur le poids souhaité et non sur le poids réel.
- concernant les glucides l'erreur la plus fréquente est de les bannir totalement de l'alimentation, or les glucides représentent la source énergétique la plus rapidement mobilisable par le muscle, il ne faut donc pas les supprimer sous peine là aussi d'obtenir une fonte musculaire. Il faut cependant veiller à les réduire progressivement, en choisissant des sources glucidiques de qualité.
- les lipides seront apportés avec un apport minimum à respecter de 1g/Kg de poids de corps souhaité, en veillant à garder les graisses indispensables au bon fonctionnement de l'organisme tout en optant pour des sources de qualité et éviter les graisses industrielles que l'on retrouve par exemple dans les produits comme les pâtes à tartiner et les viennoiseries, où la part d'acides gras saturés est élevée et donc néfastes pour l'organisme.
- une hydratation nécessaire allant jusqu'à 4L les jours d'efforts intenses, ne pas oublier qu'une déshydratation peut mener aux blessures, ce qui est préjudiciable pour le sportif.

Tableau 10-Exemple de répartition type à adapter en période de sèche (24)

Objectifs	Besoins en énergie totale	Besoins en protéines	Besoins en lipides	Besoins en glucides
Sèche	Moins 250 à 500 kcal de sa DET au départ ou moins 250 à 500 kcal par rapport à son régime de prise de masse.	1,5 à 2 g/kg de poids de corps souhaité.	Minimum 1 g/kg de poids de corps souhaité.	2 à 4 g/kg de poids de corps ou à déduire après calcul des protéines et lipides.

1.3.4 Maintenance

1.3.4.1 Définition

La phase de maintenance ou de stabilisation se caractérise par un équilibre du poids caractérisé par des apports énergétiques égaux aux dépenses énergétiques.

1.3.4.2 Intérêts

L'objectif est double ici, à savoir optimiser ses performances tout en maintenant son poids de forme, mais également de revenir à un poids d'équilibre après une étape de prise de masse ou de « sèche ».

1.3.4.3 En pratique

La diététique de la stabilisation doit respecter les mêmes règles qu'auparavant quant aux choix des aliments ingérés, à savoir :

- un choix de qualité pour les aliments
- des sources glucidiques avec IG moyen à bas
- éviter les produits sucrés
- privilégier les bonnes graisses
- avoir des apports suffisants en énergie mais sans excès
- continuer la consommation de fruits et légumes
- possibilité de faire des « extras », à raison de 1-2 fois par semaine.

Tableau 11-Exemple de répartition type à adapter en période de maintenance (24)

Objectifs	Besoins en énergie totale	Besoins en protéines	Besoins en lipides	Besoins en glucides
Stabilisation	= DET	1,2 à 1,6 g/kg de poids de corps Jusqu'à 2 g en cycle de force	Minimum 1 g/kg de poids de corps	3 à 5 g/kg de poids de corps ou à déduire après calcul des protéines et lipides

2 LES RISQUES DE DERIVES EN MUSCULATION :

2.1 Utilisation de protéines à haute dose

2.1.1 Rappels

Les protéines sont principalement présentes dans le plasma sanguin, les tissus viscéraux et les muscles ; il n'existe pas de réservoir de protéines dans l'organisme, ces dernières représentent entre 12-15% de la masse corporelle.

Le contenu protéique des muscles squelettiques, représentant environ 65% de la teneur totale des protéines, peut augmenter selon des degrés variables en fonction de l'entraînement réalisé. Les acides aminés constituant les protéines peuvent voir leurs besoins augmentés de façon importante.

Les protéines sont renouvelées en permanence par des processus biochimiques consommant de l'énergie et associant synthèse et catabolisme protéique : cette synthèse protéique se fait à partir du pool d'AA libres, ce qui représente 70g d'AA, et la dégradation protéique va elle libérer des AA dans ce pool.

Ces deux phénomènes sont simultanés et conditionnent le renouvellement protéique et donc responsables de la conservation de la masse protéique totale. Ainsi, une synthèse protéique supérieure à la protéolyse engendre un gain protéique, ce que recherchent les pratiquants de musculation ; et à contrario une protéolyse supérieure à la synthèse résultera en une diminution de la masse protéique.

Ce renouvellement protéique est modulé par de multiples facteurs nutritionnels et hormonaux et au cours de diverses situations pathologiques, les besoins en protéines doivent donc être assurés par un apport suffisant à la fois en azote et en acides aminés essentiels, et ce par l'ingestion de protéines d'origine animale et/ou végétale.

Les protéines peuvent également fournir de l'énergie, ceci étant possible dans certaines situations avec cependant une participation assez faible en comparaison des glucides et des lipides.

2.1.2 Les risques pour la santé

Les protéines font souvent l'objet d'une discussion concernant leur probable incrimination sur l'état de santé chez les personnes ayant un fort taux de consommation en protéines, allant de 2-3g/kg/j et ceci sur une longue période.

2.1.2.1 A court terme

- Déséquilibre acide-base

Au sein de l'organisme se trouve différents mécanismes afin d'assurer un équilibre du pH sanguin et donc maintenir l'équilibre acide-base, notre organisme ayant une tendance naturelle à l'acidification.

Le pH sanguin étant compris entre 7,35 et 7,45 ; toute variation en dessous de 7,35 résultera en une augmentation de l'acidité du milieu : on parle alors d'acidose ; à contrario toute variation au-dessus de 7,45 engendrera une baisse de l'acidité du milieu : on parle alors d'alcalose.

Les aliments ont une influence sur notre équilibre acide-base, ils disposent d'un potentiel alcalinisant ou acidifiant ce qui peut amener parfois à des déséquilibres pouvant avoir des conséquences.

Chez le sportif les déséquilibres acido-basiques ont différentes origines :

- l'acidose chronique de faible niveau, trouble causé par une alimentation déséquilibrée puisque trop riche en aliments acidifiants
- les acidoses métaboliques et respiratoires
- les alcaloses métaboliques et respiratoires.

Ces déséquilibres peuvent être rencontrés au décours d'un effort violent et prolongé, et ont des conséquences pouvant engager le pronostic vital du sportif. Nous ne traiterons volontairement pas de ces deux derniers déséquilibres car ils restent rares en pratique et n'apparaissent que chez les sportifs de très haut niveau et dans des conditions particulières (travail en apnée, déshydratations et vomissements etc.).

L'acidose chronique de faible niveau est la plus connue des sportifs et s'installe progressivement suite à une alimentation inadaptée car trop acidifiante et pas assez alcalinisante.

On peut cependant aujourd'hui évaluer le degré acidifiant ou alcalinisant des aliments ingérés et donc leur impact sur l'organisme grâce à l'indice PRAL (*Potential Renal Acid Loading*) traduit par le potentiel de charge acide rénale. (57)

En pratique, plus la valeur de l'aliment est négative plus celui-ci est alcalinisant ; et inversement plus elle est positive plus celui-ci est acidifiant.

Nous pouvons ainsi voir dans les tableaux ci-dessous que la plupart des aliments ont un pouvoir acidifiant important et notamment les protéines.

Tableau 12-L'indice PRAL (58)

VALEUR DE L'INDICE PRAL	EVALUATION DU POTENTIEL ACIDIFIANT OU ALCALINISANT
De 0 à + 5	Acidifiant FAIBLE
De + 5 à + 15	Acidifiant MOYEN
+ 15 et au-delà	Acidifiant FORT
De 0 à - 5	Alcalinisant FAIBLE
De - 5 à - 15	Alcalinisant MOYEN
- 15 et au-delà	Alcalinisant FORT

Tableau 13-Indice PRAL de quelques aliments (58)

Aliment	PRAL	Aliment	PRAL
Concombre	- 0,8	Viandes, oeufs et poissons	
Courgette	- 4,6	Bœuf	+ 7,8
Epinards	- 14	Dinde	+ 9,9
Fraise	- 2,2	Œuf de poule	+ 8,2
Kiwi	- 4,1	Hareng	+ 7
Laitue	- 2,5	Maquereau	+ 10,8
Lentilles	+ 3,5	Porc	+ 7,9
Melon	- 1,9	Poulet	+ 8,7
Orange	- 2,7	Saumon	+ 7,6
Pastèque	- 1,9	Thon rouge	+ 15
Pêche	- 2,4	Truite	+ 10,8
Poireau	- 1,8	Veau	+ 9
Pomme	- 2,2	Matières grasses et produits laitiers	
Pomme de terre	- 4	Beurre	+ 0,6
Raisin sec	- 21	Camembert	+ 14,6
Tomate	- 3,1	Huile d'olive	0,0
Boissons		Lait entier	+ 1,1
Café	- 1,4	Parmesan	+ 34,2
Jus d'orange	- 2,9	Yaourt aux fruits	+ 1,2
Jus de pommes	- 2,2	Produits céréaliers	
Jus de raisin	- 1	Pain complet	+ 6,1
Thé	-0,3	Pain blanc	+ 4,2

L'acidose provoquée par cet apport excessif de protéines cumulé à une alimentation inadaptée est à l'origine de syndromes inflammatoires persistants au niveau musculo-tendineux, d'une déminéralisation osseuse et d'une diminution de la capacité de résistance au stress.

La surconsommation de protéines peut donc avoir des effets néfastes sur l'organisme à court terme, mais également à long terme.

2.1.2.2 A long terme

L'effet d'une alimentation hyperprotéinée (>3g/kg/j) doit rester transitoire et ne pas dépasser plus de six mois dans l'année, au-delà on expose l'organisme à des risques d'atteintes rénales et osseuses, ce que conclut le rapport de l'ANSES sur l'apport protéique. (43) En effet, le groupement amine issu des AA va donner de l'ammoniac qui sera éliminé par les reins, ainsi en cas d'apports protéiques trop importants cela provoquera une augmentation des processus d'élimination de l'ammoniac produit en excès et se traduira par une atteinte rénale de type glomérulonéphrite.

Un apport trop élevé en protéines engendre un surplus d'urée qu'il est nécessaire d'éliminer dans les urines. L'excrétion urinaire de l'azote tend à accentuer les pertes hydriques et peut donc mener à une déshydratation (phénomène d'autant plus visible chez le sportif dont la sudation peut être importante). Ainsi, chez les sujets entraînés consommant beaucoup de protéines, il est important de veiller à une bonne hydratation pour ne pas favoriser la rétention de l'urée, produit toxique.

En théorie, un apport massif de protéines et d'AA va nécessiter une suractivité du foie (oxydation nécessaire des AA) mais aussi des reins (par hyperfiltration).

Cliniquement il ne semble pas que le foie ou les reins pâtissent d'un apport excessif en protéines. Par contre, il est bien connu qu'un apport important en protéines stimule l'excrétion urinaire en calcium.

De nombreuses études (réalisées sur animaux) affichent des résultats similaires montrant des déséquilibres pouvant engendrer des atteintes rénales, il a été rapporté qu'une surconsommation en protéines augmente le calcium urinaire et le sodium urinaire, avec une diminution du pH urinaire, et inversement une diminution du taux de citrate urinaire. (58) (59).

D'autres études, en plus des résultats cités auparavant, ont montré qu'une supplémentation en protéines entraîne une augmentation considérable du poids des reins et du volume urinaire et concluent que cet apport excessif affecte la fonction rénale mais également la fonction hépatique, avec altérations de certains paramètres métaboliques. Le statut osseux n'a cependant pas semblé être affecté par cette supplémentation. (60) (61)

Un excès de consommation en protéines animales peut également engendrer des taux sanguins d'acide urique trop élevés. Dans le sang, l'acide urique est sous forme d'urate, sel soluble. Lorsque son taux s'élève significativement, l'acide redevient insoluble et peut précipiter, notamment au niveau articulaire provoquant ainsi une crise de goutte mais peut précipiter également au niveau des reins et donc être source de coliques néphrétiques et d'insuffisance rénale à long terme.

Concernant les études chez l'homme, les résultats d'une étude américaine s'étalant sur deux ans et englobant un nombre important de personnes (153) ne montrent pas d'effets néfastes sur l'organisme pour un apport protéique allant jusqu'à 35% de l'AET, celles des lipides pour 45% et enfin les glucides pour 25%.

Il s'agit donc d'un régime pauvre en glucides, modérément riche en protéines, plutôt riche en graisses (par comparaison, le régime Dukan évalué par le rapport de l'Anses est un régime hyperprotéiné, les protéines apportant 40 à 50% des calories).

L'autre groupe de l'étude respectait les recommandations officielles dans la répartition des macronutriments, 55% de glucides, 30% de lipides, et 15% de protéines.

Trois paramètres ont été étudiés pour évaluer la fonction rénale : la créatinine sanguine, la clairance de la créatinine, et la cystatine C (protéine exclusivement filtrée par le glomérule rénal et dont le dosage permet d'évaluer le DFG) ; les résultats montrent que l'alimentation riche en protéines n'a eu aucun effet néfaste sur la fonction rénale. (62)

Cette étude était cependant portée sur des personnes obèses en bonne santé, or chez les pratiquants de sport de force il n'est pas rare d'avoir un déséquilibre alimentaire avec des apports protéiques supérieurs à ceux que rapportent l'étude et une faible consommation de fibres et de fruits et légumes associés, sans oublier l'apport protéique sous forme de CA que l'on retrouve chez la majorité des pratiquants de sports de force.

Ainsi, il est nécessaire d'avoir d'une part une adéquation du régime alimentaire et d'autre part une surveillance plus étroite de ces paramètres compte tenu de la grande variabilité individuelle : il sera recommandé aux personnes ayant des problèmes de santé comme du diabète, de l'hypertension, ou une maladie rénale préexistante d'en informer les professionnels de santé et d'évaluer conjointement avec le médecin les possibilités s'offrant à eux.

2.2 Les Compléments Alimentaires utilisés en musculation

2.2.1 Le complément alimentaire

Dans les sports de force et les sports à catégorie de poids, les CA ciblant une prise de masse musculaire et/ou une réduction de la masse grasse sont très nombreux aujourd'hui ; nous devons cependant préciser que le marché des CA est ouvert à de nombreux pays et de nombreux laboratoires, ainsi une réglementation stricte de ces CA est nécessaire.

2.2.1.1 Définition

Selon la définition figurant au journal officiel de mars 2008, le CA est une « *denrée alimentaire dont le but est de compléter le régime alimentaire normal et qui constitue une source concentrée de nutriments ou d'autres substances [...] destinée à être prise en unité mesurée de faible quantité* ». (63)

2.2.1.1.1 Objectif

Ces produits complètent le régime alimentaire. Ils ne viennent donc pas se substituer aux aliments courants. Leurs apports nutritionnels s'ajoutent aux apports issus de l'alimentation courante, y compris ceux provenant des aliments enrichis.

2.2.1.1.2 Composition

Ces produits sont essentiellement constitués d'ingrédients ayant un effet nutritionnel ou physiologique (plantes, nutriments, autres substances...). A la différence des aliments classiques, les compléments alimentaires ne sont pas constitués d'une matrice alimentaire c'est-à-dire d'une structure physique complexe associant notamment des macronutriments (glucides, lipides et protéines).

2.2.1.1.3 Présentation

Ces produits sont vendus sous la forme de doses, ce qui implique de définir une unité de prise. Cette unité de prise doit être mesurable et de faible quantité, comparativement aux quantités d'aliments consommés habituellement.

Les CA peuvent donc être ici utilisés d'une part en tant que complémentation, ce qui correspond à un apport du dit nutriment dans la limite de trois fois la valeur des ANC ; et d'autre part comme supplémentation si l'apport est ici entre trois et dix fois celle des ANC ou bien pour des molécules dont aucun ANC n'a été défini (exemple des polyphénols).

Le but des CA est donc de renforcer la densité nutritionnelle d'une alimentation équilibrée ou de corriger un déséquilibre afin de combler les besoins spécifiques de l'organisme sans surcharger le système digestif, ils doivent ainsi ne pas nuire à l'organisme

2.2.1.2 Encadrement

En Europe, l'autorité compétente en matière de sécurité du marché des CA est l'Agence Européenne de Sécurité des Aliments. (64)

Dans la réglementation française, la présence d'un nutriment dans un CA est limitée à 100% des ANC, cependant pour des doses ne dépassant pas trois fois celle des ANC ceci est toléré. La DGCCRF veille ainsi à la bonne utilisation des CA concernant les ingrédients présents et donc leur quantité, l'étiquetage, la sécurité et la qualité de ces derniers garantissant aux consommateurs une sécurité d'utilisation. (65)

2.2.1.3 Engagement qualité

Depuis 2012 existe pour les CA à destination des sportifs la norme AFNOR NF V94 -001, intitulée « Prévention du dopage dans le sport - Compléments alimentaires et autres denrées alimentaires destinées aux sportifs - Bonnes pratiques de développement et de fabrication visant l'absence de substances dopantes ». Elle permet d'attester de la non-présence de produits dopants dans le CA, ce label qualité doit être mentionné sur les différents produits afin que tout consommateur potentiel puisse l'identifier. (66)

2.2.1.4 Nutrivigilance

En France, le dispositif de nutrivigilance, piloté par l'ANSES, permet la surveillance des effets indésirables liés à la consommation de compléments alimentaires, ainsi tout effet indésirable doit être déclaré à l'ANSES.

Nous nous devons, en tant que professionnels de santé, d'être vigilants quant à l'utilisation des CA et les risques potentiels qu'ils peuvent engendrer dans certaines conditions. (67)

2.2.2 Les poudres de protéines

Les poudres de protéines constituent la part majoritaire des CA destinés à la prise de masse musculaire chez les pratiquants de sports de force.

Il y a différentes gammes de produits disponibles offrant un large choix, mais tous ne se valent pas et ne sont pas destinés aux mêmes personnes : ce sont les poudres de protéines de lait, ces dernières sont composées à 80% de caséine et de 20% de lactosérum.

Chez le sportif, les besoins en protéines sont accrus en raison du catabolisme musculaire supérieur au niveau des muscles squelettiques : il faut donc nécessairement des apports réguliers en AA indispensables afin de répondre aux besoins liés à la stimulation de la synthèse protéique lors de la phase de récupération d'exercices de force.

Les études sur l'utilisation des protéines autour de l'entraînement montrent tous un intérêt théorique potentiel à la prise de ces CA en vue d'une synthèse musculaire, sans toutefois consommer de grandes quantités de protéines, puisque qu'il « *semble exister un plafonnement des synthèses protéiques [...] et ne permettent pas de montrer de relation*

linéaire entre apport protéique et anabolisme musculaire [...] mettant en doute l'intérêt que pourrait représenter la consommation de grandes quantités de protéines au-delà du besoin induit par la pratique de l'exercice, pour le développement de la masse musculaire » conclue le rapport de l'AFSSA. (54)

2.2.2.1 Gainer

Les poudres de protéines dénommées « gainer » sont composées d'un mélange de glucides et de protéines, auquel on rajoute parfois des lipides, vitamines et minéraux ; la particularité des « gainers » est leur contenance en glucides puisque relativement plus importante que celle des protéines (65% de glucides pour 35% de protéines environ).

Cette gamme de produits est destinée aux personnes ayant des difficultés à prendre du poids et plus précisément de la masse musculaire malgré un apport alimentaire adapté, il y aura donc un apport calorique important suite à l'ingestion de ces produits dans un objectif de prise de poids.

Il faudra toutefois veiller à ce que cet excédent calorique, en raison de la teneur en glucides parfois très élevée, ne soit pas à l'origine d'un gain de poids caractérisé par une augmentation du volume des adipocytes ce qui se traduira par un gain de graisse préférentiellement à un gain de muscle.

2.2.2.2 Whey

La plus connue des poudres de protéines est la Whey, constituant 20% des protéines du lait, et où la part des glucides est inférieure à celle des protéines qui devient majoritaire, selon un rapport 75/25 pour les protéines en moyenne.

Cette gamme est destinée aux personnes ayant une alimentation adaptée mais où les besoins en protéines peuvent être augmentés tout en prenant soin de ne pas passer à un régime hyperprotéiné (>3g/kg/j) : elle sera ainsi profitable en vue d'une prise de masse maigre.

La whey ou protéine de lactosérum est une protéine issue du lait, elle est riche en AA essentiels et notamment en BCAA. Elle offre une très bonne digestibilité, une absorption plus rapide que la plupart des autres sources de protéines, ce qui lui confère un effet

anticatabolisant après le sport mais également favorisant l'anabolisme musculaire de façon supérieure comparée aux autres (+68% d'augmentation contre +30% d'augmentation après ingestion de caséine). (9)

La whey offre une disponibilité presque immédiate en acides aminés : en effet la présence des AA dans le compartiment intracellulaire se traduira par une stimulation des synthèses protéiques.

Dès la fin de l'exercice, ces poudres de lait peuvent être consommées afin d'optimiser l'anabolisme musculaire : en effet après un exercice intense les AA seront mieux utilisés et ceci plus l'apport en protéines est précoce après la fin de l'exercice. (54)

De nombreuses études ont été réalisées ces dernières années sur les protéines de lait et leurs intérêts potentiels quant à leur utilisation, il en ressort pour la plupart des résultats similaires avec un profil plutôt favorable : la supplémentation en whey permettrait une amélioration des performances à l'exercice, une réduction de la masse grasse associée à une augmentation de la masse maigre, pouvant ainsi être intéressante également pour certaines personnes obèses, hypertendues ou à risque d'accident vasculaire cérébral (AVC), mais également pour prévenir le risque de diabète de type 2. (68) (69) (70) (71)

2.2.2.3 Isolat

L'isolat permet une purification plus poussée des protéines de lait, ici la part des glucides est encore plus faible voire presque nulle tandis que celle des protéines est supérieure encore à la whey (90%) ; cette gamme de produits est à destination des personnes prenant facilement du poids et où un contrôle strict des apports et donc de l'alimentation est nécessaire, elle est donc particulièrement intéressante lors des périodes de « sèche » où la perte maximale de masse grasse est l'objectif.

L'isolat est la technique permettant d'obtenir un rendement supérieur en protéines par des procédés de filtration très poussés, ainsi il y aura le maximum de protéines disponibles et le minimum de glucides et de lipides afin d'optimiser le gain musculaire, on retrouve l'isolat de whey obtenu par microfiltration et l'isolat de caséine défini par l'isolat micellaire.

2.2.2.4 Caséine

La caséine est une protéine elle aussi issue du lait mais à la différence des protéines de lactosérum qui définissent les produits cités ci-dessus, la caséine a un profil métabolique différent : en effet elle reste plus longtemps dans l'organisme du fait qu'elle coagule au contact des liquides gastriques et sera donc absorbée plus lentement que celles issues du lactosérum (aussi appelées α -lactalbumines).

La caséine est ainsi favorisée lors des phases de jeûne où les apports seront séparés de plusieurs heures, ce qui est le cas lors du ramadan ou bien lors de la nuit où l'organisme a jeûné durant la nuit entière.

La caséine contient également une part importante d'AA essentiels et est de très bonne qualité également, son assimilation est plus lente que pour la whey du fait de sa coagulation dans l'estomac et donc retarde son arrivée dans l'intestin ce qui la rend plus longue à digérer ; ainsi les AA arriveront plus progressivement dans le sang.

Son principal inconvénient est qu'elle favorise la perméabilité intestinale, elle est donc à déconseiller chez les personnes présentant déjà des troubles intestinaux, une intolérance au lactose ou un terrain génétique favorable aux maladies auto-immunes telles que les maladies inflammatoires chroniques intestinales (MICI).

2.2.2.5 Les protéines végétales

Elles représentent une alternative pour les végétariens et/ou les végétaliens, on peut citer la protéine de soja ou de riz, et la protéine de chanvre.

La protéine de soja a un profil d'AA satisfaisant puisque tous les AA essentiels sont présents, elle est cependant riche en phyto-œstrogènes et en anti-nutriments (inhibiteurs de trypsine) ce qui peut parfois limiter l'absorption des vitamines et minéraux, voire même celles des protéines alimentaires.

La protéine de riz ou la protéine de pois contiennent des AA limitants puisqu'issues des céréales et légumineuses, ce qui réduit leur qualité globale en comparaison des protéines animales.

Enfin la protéine de chanvre constitue une alternative idéale aux protéines animales, elle contient tous les AA essentiels et représente une bonne source d'oméga-3.

Les recommandations d'apport en protéines chez le sportif doivent donc être envisagées en fonction de la discipline sportive et du niveau de pratique. L'efficacité nutritionnelle des protéines est fondamentale à considérer pour la reconstruction musculaire en récupération des exercices intenses.

Les protéines du lait ou dérivées de produits laitiers (caséine et/ou lactosérum) ont montré leur efficacité sur l'augmentation du flux de synthèse protéique musculaire. Ces protéines doivent être consommées le plus tôt possible, dès l'arrêt des exercices intenses, à raison de 20-25g pour un sujet de 80-95kg. (72)

2.2.3 Les BCAA

Les acides aminés sont, nous l'avons vu, les constituants de base des protéines et proviennent pour la plupart d'une synthèse endogène mais également via notre alimentation (dans les protéines). Ils peuvent également être apportés de façon exogène grâce aux compléments alimentaires riches en acides aminés branchés, plus connus sous le nom de BCAA (*Branched-Chain Amino-Acids*).

Parmi les vingt acides aminés existant, certains sont qualifiés d'essentiels car ils nécessitent d'être apportés par l'alimentation, les douze autres étant synthétisables au sein de notre organisme.

Chaque acide aminé joue cependant un rôle fonctionnel propre à lui-même, que nous allons détailler par la suite : (73) (9)

2.2.3.1 Présentation des différents acides aminés

Tous les AA ont une organisation structurale commune : ils possèdent un groupement carboxyle et un groupement amine, séparés par un seul atome de Carbone et une chaîne latérale de structure différente leurs conférant des propriétés physico-chimiques particulières ; ils proviennent de la dégradation des molécules de protéines mais peuvent également être issus des intermédiaires de la glycolyse et du cycle de Krebs. (49)

2.2.3.1.1 Les acides aminés essentiels

i. Isoleucine

C'est l'un des trois AA branchés, ces BCAA contribuent à la croissance et à la « réparation » musculaire, le muscle en contenant plus de 30% ; il est nécessaire à la formation de l'hémoglobine et participe à la production d'énergie, l'isoleucine étant un AA glucoformateur ainsi que cétoformateur.

ii. Leucine

C'est le deuxième AA branché, la leucine apparaît depuis plusieurs années comme étant le plus efficace pour moduler la synthèse des protéines.

iii. Valine

C'est le troisième acide aminé branché, que l'on retrouve dans les CA enrichis en BCAA. Ces acides aminés en leucine, isoleucine et valine doivent être apportés selon un rapport 2:1:1. Il faut donc qu'il y ait deux fois plus de leucine que de valine et d'isoleucine. On retrouve cependant dans certains CA des rapports plus élevés.

iv. Lysine

Acide aminé participant dans la synthèse de l'hormone de croissance et du collagène, la lysine est également un précurseur de la carnitine, retrouvée dans d'autres CA et que nous traiterons un peu plus tard. Enfin elle joue également un rôle dans la stimulation du système immunitaire.

v. Méthionine

C'est l'acide aminé par lequel toute séquence d'ADN commence, il participe activement dans la synthèse de la kératine, mais également dans la synthèse de la créatine et de la carnitine.

vi. Phénylalanine

La phénylalanine est le précurseur d'un autre AA, non essentiel, qu'est la tyrosine, et permettant la synthèse de neuromédiateurs (NM) importants comme la dopamine, la noradrénaline et l'adrénaline.

vii. Thréonine

Elle participe à la synthèse du collagène, de l'élastine et de l'émail dentaire ; c'est le précurseur d'autres AA comme la glycine et la sérine, et est impliquée dans la réponse immunitaire du fait de la teneur élevée en thréonine des immunoglobulines (Ig).

viii. Tryptophane

Il est le précurseur de deux NM jouant un rôle dans la régulation de l'humeur et dans la synchronisation des phases de veille-sommeil : ces NM sont la sérotonine et la mélatonine. Il intervient également dans la régulation de l'appétit et stimule la libération de l'hormone de croissance.

2.2.3.1.2 Les acides aminés non essentiels

ix. Le glutamate

Aussi appelé acide glutamique, il est formé à partir d'un autre AA : la glutamine ; c'est un des neuromédiateurs fondamentaux du SNC : en effet il s'agit du neurotransmetteur (NT) excitateur le plus important du SNC dont l'action est contrebalancée par le GABA, NT inhibiteur, le glutamate étant le précurseur principal du GABA.

C'est également un constituant de base pour la formation des bases de l'ADN et du glutathion, molécule anti-oxydante essentielle à l'organisme.

x. L'alanine

L'alanine représente quantitativement l'acide aminé glucoformateur le plus abondant : ainsi lors d'un effort où la réserve de glycogène diminue, l'alanine permet la production de glucose via son oxydation par la néoglucogenèse ; elle intervient aussi dans la synthèse du collagène et de l'élastine.

xi. L'arginine

L'arginine est un précurseur de la créatine mais également du monoxyde d'azote (NO), molécule vasodilatatrice très puissante. L'arginine possède de nombreuses fonctions au niveau physiologique : elle intervient dans différents processus tels que l'immunité, la sécrétion de l'hormone de croissance, la cicatrisation ou la détoxification hépatique.

On retrouve souvent cet acide aminé dans les CA optimisant l'endurance et la prise de muscle, donc susceptibles d'être utilisés chez les pratiquants de musculation.

Les effets potentiels d'un apport en arginine en tant que précurseur du NO seraient potentiellement bénéfiques pour la performance sportive : en effet l'augmentation de NO entraînerait une meilleure dilatation des vaisseaux et améliorerait ainsi le travail en aérobie avec une meilleure élimination des toxines à l'effort.

Cependant ces allégations n'ont pas été vérifiées ou très peu en pratique lors d'études scientifiques, ainsi il n'y a eu aucune amélioration de l'endurance, de la force ou de la réponse de l'organisme à l'effort ; le seul effet bénéfique à la supplémentation en arginine à l'exercice semble intéressant pour les personnes non entraînées. (74) (75)

Ainsi, en l'état actuel des connaissances, ces CA à base d'arginine ne semblent pas avoir d'intérêt chez les sportifs régulièrement entraînés. (76)

xii. L'asparagine

C'est un des précurseurs des bases de notre ADN, elle intervient aussi dans le bon fonctionnement du système nerveux, l'asparagine peut être utilisée à des fins énergétiques notamment à l'effort prolongé.

xiii. L'aspartate

Les fonctions attribuées à l'aspartate sont nombreuses : il permet la synthèse de NT, participe à la synthèse d'ADN et d'ARN et celles des Ig. L'aspartate est un précurseur du cycle de Krebs permettant la formation de l'oxaloacétate, il sera ainsi utilisé à des fins énergétiques en vue d'une épargne des réserves en glycogène.

xiv. La cystéine

Cet AA soufré, comme la méthionine, entre dans la composition des unités contractiles du muscle squelettique que sont l'actine et la myosine.

La cystéine permet également la formation de la mélanine et kératine, constituant principal des cheveux, de la peau et des ongles ; la cystéine est impliquée dans les processus de détoxification de l'organisme (chélation de métaux lourds).

xv. La glutamine

C'est l'AA le plus abondant dans l'organisme et notamment dans le muscle, cet AA intervient dans de nombreuses réactions, il est donc indispensable au bon fonctionnement de notre organisme : il n'est toutefois pas considéré comme un AA essentiel du fait qu'il soit produit par l'organisme.

La glutamine intervient dans la synthèse de glucosamine, molécule protectrice de l'articulation, dans le renforcement du système immunitaire, dans la synthèse du glutathion et dans celle des bases de notre ADN.

La glutamine est impliquée dans les processus de mémorisation et de concentration étant indirectement le précurseur du NT GABA.

Dans les heures qui suivent l'effort le sportif présente une plus grande sensibilité aux infections ORL, des études ont montré que la supplémentation en glutamine permet de diminuer significativement ces risques d'affection ORL lors de cette période, aussi appelée *l'open window phenomenon*. (77) (78)

La glutamine, mise en réserve dans le muscle squelettique aura pour rôle de maintenir un niveau optimal en protéines et de réguler le métabolisme glucidique, on la retrouve donc pour toutes ces raisons souvent associée aux BCAA, toutefois les résultats sont encore limités ce qui leur confère peu d'intérêts quant à leur utilisation par les adeptes de sports de force.

xvi. La glycine

Comme d'autres de ses pairs, cet AA intervient dans de nombreux processus physiologiques dans l'organisme, la glycine étant un des précurseurs à la synthèse de l'ADN, de la créatine, du glutathion, du collagène et de l'hémoglobine.

xvii. L'histidine

Il est selon certains auteurs classé comme étant un AA essentiel, ce qui est le cas notamment lors de la période de croissance chez les enfants.

C'est le précurseur de l'histamine, molécule impliquée dans les mécanismes allergiques, l'histidine favorise également la production de l'hémoglobine et du glutamate.

xviii. La proline

Essentielle à la production de l'acide hyaluronique contribuant à la lubrification des articulations, et à la synthèse du collagène : elle a donc un rôle fondamental au niveau des tissus conjonctifs.

xix. La sérine

La sérine est le précurseur de la molécule de choline, elle-même permettant la synthèse du NT qu'est l'acétylcholine. Cette molécule d'acétylcholine (Ach) joue un rôle dans les processus de mémorisation, de concentration, mais aussi dans le bon fonctionnement du système nerveux parasympathique, elle est à l'origine du processus de contraction musculaire au niveau de la jonction neuromusculaire.

Par extension, toute carence en sérine peut être à l'origine d'une carence en Ach, ainsi tout dérèglement dans le métabolisme de l'Ach peut être à l'origine de pathologies comme la myasthénie (atteinte des récepteurs neuromusculaires ou défaut de libération d'Ach) ou à l'origine de maladies neurodégénératives comme la maladie d'Alzheimer (déficience cholinergique).

xx. La tyrosine

Elle est le précurseur de différents NM comme la dopamine, l'adrénaline et la noradrénaline. Elle permet également la synthèse de mélanine à l'origine de la couleur de peau, et est à l'origine des différentes hormones thyroïdiennes.

Certaines études font état d'une amélioration de l'endurance lors d'exercices intenses et prolongés, même si d'autres études doivent être réalisées pour justifier l'intérêt d'une supplémentation en tyrosine. (79)

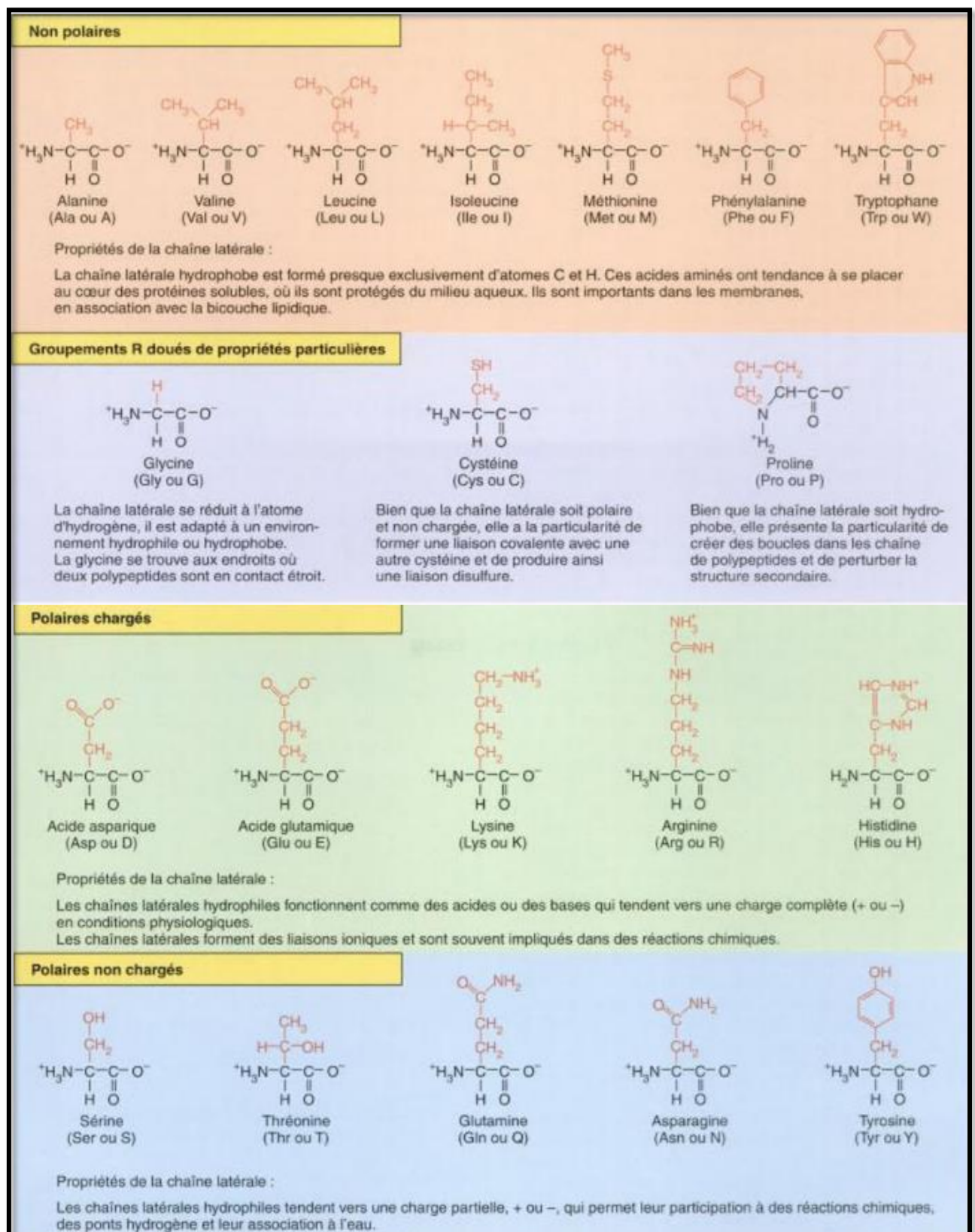


Figure 21-Structures chimiques des acides aminés (49)

Les acides aminés sont donc particulièrement importants dans l'organisme au travers des réactions de synthèse de nombreuses molécules et protéines, en plus de leur rôle dans la synthèse musculaire.

2.2.3.2 Supplémentation en BCAA

2.2.3.2.1 Intérêts

Au niveau métabolique nous avons vu que les acides aminés peuvent servir de substrats énergétiques ; toutefois les protéines ne peuvent être comparées aux glucides et lipides en terme de réserve énergétique. En effet la protéolyse à visée énergétique est restreinte dans l'organisme : durant l'effort la part des protéines intervient pour +/- 5%.

Il y a cependant une majoration de l'oxydation des AA à hauteur de 3 à 5g par heure d'activité chez l'adulte, ce qui rend intéressant leur supplémentation chez le sportif. (80)

Parmi les acides aminés, les BCAA représentés par la Leucine, l'Isoleucine, et la Valine représentent les AA les plus transaminés au niveau musculaire pendant l'exercice ; ils servent ainsi de carburant au muscle en produisant de l'énergie, d'autant plus lorsque les réserves de glycogène sont épuisées ; cela peut engendrer une protéolyse aboutissant à un catabolisme musculaire.

Ainsi chez le pratiquant de musculation, il est intéressant d'en apporter de manière exogène au travers d'une supplémentation.

2.2.3.2.2 Rôles

Avant l'effort ils permettent ainsi à l'organisme de ne pas puiser dans le muscle et ainsi garder ses réserves et donc éviter un catabolisme ; pris durant l'effort ils seront à l'origine de la production énergétique sous forme d'ATP.

De plus, les BCAA agissent également comme des neurotransmetteurs qui vont agir en activant l'anabolisme musculaire, sous l'influence de nombreux paramètres comme l'intervention des hormones de croissance et de l'insuline, mais également selon le type d'exercice : de nombreuses études ont ainsi montré que les exercices de force stimulaient

l'anabolisme musculaire. Les BCAA jouent un rôle fondamental dans la modulation de la synthèse et la dégradation des protéines musculaires. (81)

Durant l'effort la protéosynthèse est inhibée au profit d'une protéolyse : cette dégradation musculaire est liée à l'activité effectuée : ainsi « *il existe maintenant un consensus pour penser que l'exercice de force augmente de manière sensible les dégradations protéiques au sein même du muscle* ». (54)

Après effort, ils permettent de reconstituer les réserves épuisées et aident à la reconstruction des fibres musculaires par stimulation de la voie spécifique mTOR. (82)

Cette reprise de l'anabolisme protéique dès l'arrêt de l'exercice est favorisée par l'accumulation d'acides aminés au niveau du sarcoplasme, créant ainsi des conditions favorables à la resynthèse protéique.

Ils amélioreraient également la récupération compte tenu de la compétition entre les BCAA et le tryptophane pour franchir la barrière hémato-encéphalique ou BHE : le tryptophane étant le précurseur de la sérotonine il serait à l'origine de l'apparition de la fatigue lors de son entrée dans le SNC, ainsi tout apport supplémentaire en BCAA permettrait de réduire cette entrée dans le système nerveux, donc la sensation de fatigue et par conséquent améliorer la performance physique. (83) (84)

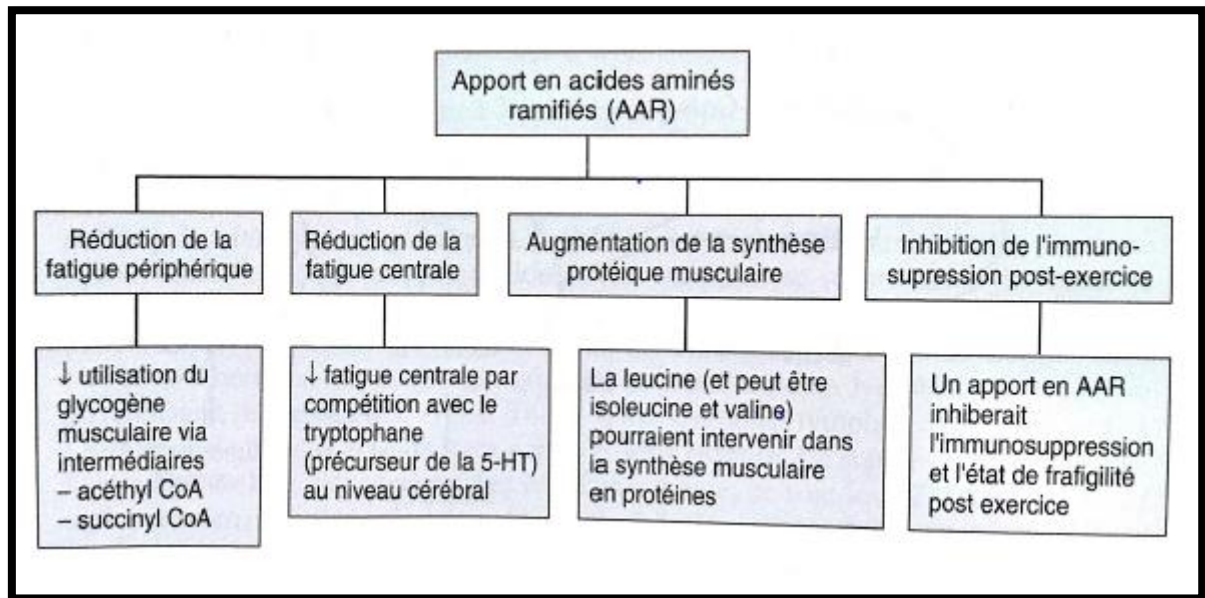


Figure 22-Apport en AA ramifiés et effets potentiels attendus (25)

Il n'est pas rare aujourd'hui que les BCAA soient additionnés aux poudres de protéines de lait, ainsi la prise orale de ces derniers « *augmente leur disponibilité locale et optimise l'augmentation des synthèses protéiques liée à la pratique de l'exercice de développement de force* ». (54)

2.2.3.2.3 Lesquels

Il convient de bien choisir ses BCAA en vue d'une supplémentation, ainsi il est important de choisir des CA avec un rapport entre les AA respecté, rapport minimum de 2 :1 :1. De nombreux CA ont cependant des rapports plus élevés, avec un apport de leucine allant jusqu'à 4-6 fois plus que l'isoleucine et la valine. Or il a été prouvé qu'il existe un plafonnement de la synthèse protéique par ces AA, ainsi tout excès sera éliminé avec pour seul résultat une augmentation de la production d'urée, ce qui est sans intérêt. (85)

La source de ces BCAA peut également amener à la vigilance, en effet dans la majorité des cas la source de ces AA est fiable mais pour certains ils peuvent être extraits de produits non présents dans l'alimentation humaine, ainsi il convient de toujours s'interroger sur leur source et donc leur provenance.

Afin de prévenir tout effet indésirable potentiel, il convient d'utiliser les CA respectant la norme qualité AFNOR présentée auparavant, ceci représentant un gage de qualité et de sécurité à destination des consommateurs.

2.2.4 Les compléments alimentaires enrichis en lipides

Les compléments alimentaires à base d'acides gras sont également utilisés par les sportifs en musculation, il s'agit tout particulièrement des AG de la série $\omega 3$, $\omega 6$ ou $\omega 9$. (37)

2.2.4.1 Rappels

- Les oméga-3 :

Les AG de la série $\omega 3$ interviennent dans la synthèse de différentes molécules impliquées dans les réactions immunitaires et inflammatoires, et dans la régulation de la pression artérielle. L'acide- α -linoléique est le seul AG essentiel de la série des $\omega 3$: il doit nécessairement être apporté par l'alimentation et de lui dérivent d'autres AG.

On retrouve deux molécules principales dérivant de l'acide- α -linoléique que sont l'EPA (acide eicosapentaénoïque) et le DHA (acide docosahexaénoïque) :

- L'EPA donne naissance aux acides gras présentant des propriétés cardioprotectrices, anti-inflammatoires et antiallergiques reconnues dans de nombreuses études (Prostaglandines (Pg) de type 3).
- Le DHA joue quant à lui un rôle dans le développement du cerveau et de la rétine, la structure des membranes cellulaires, mais également au niveau de la spermatogénèse.

L'apport d'1g d'acide- α -linoléique représente à titre d'exemple 2 cuillères à café de graines de lin broyées ou 1 cuillère à soupe d'huile de colza ; les apports recommandés en $\omega 3$ sont de 2g/j pour l'homme et 1,6g/j pour la femme, avec comme apport minimal quotidien moyen conseillé 500 mg d'EPA et de DHA.

- Les oméga-6 :

Les AG de la série $\omega 6$ interviennent dans le bon fonctionnement du SNC, du système immunitaire, au niveau allergique et CV, et sont également impliqués dans les processus de cicatrisation.

Cependant de nombreuses études ont prouvé qu'une consommation excessive d' $\omega 6$ va inhiber l'activité des $\omega 3$ et conditionne l'apparition de pathologies inflammatoires et CV. (43)

Seul l'acide linoléique est essentiel parmi les $\omega 6$, il sera transformé par la suite en acide dihomog- γ -linolénique (DGLA) aux propriétés cardioprotectrices, anti-inflammatoires et modulant les réponses immunitaires via les Pg de type 1.

Le DGLA sera cependant transformé pour donner l'acide arachidonique impliqué dans la synthèse des Pg de type 2 aux rôles cette fois pro-inflammatoires, vasoconstricteurs, pro-agrégants au niveau plaquettaire (permet la cicatrisation), et enfin pro-allergiques.

L'apport fixé en $\omega 6$ est d'environ 10g pour un homme et de 8g pour une femme.

En micronutrition, le rapport $\omega 6/\omega 3$ doit être idéalement compris entre 3 et 5 alors qu'en réalité il se situe autour de 10-30 compte tenu des habitudes alimentaires riches en lipides, plus particulièrement en acides gras de la série $\omega 6$.

Tableau 14-Rôles des acides gras $\omega 3$ et $\omega 6$ sur l'organisme (39)

$\omega 3$	
Acide eicosapentanoïque (EPA)	Rôle important au niveau des membranes cellulaires. Rôle dans de nombreux processus biochimiques de l'organisme : régulation de la tension artérielle, élasticité des vaisseaux, réactions immunitaires et anti-inflammatoires, agrégation plaquettaire, etc.
Acide docosahexanoïque (DHA)	L'EPA se transforme en DHA. Rôle dans le système cardiovasculaire et l'inflammation. Le tissu nerveux et en particulier le cerveau sont les plus riches en DHA. Rôle capital dans le développement du cerveau et de la rétine.
$\omega 6$	
Acide linoléique (AL)	Rôle sur les fonctions reproductrices, le système immunitaire, la coagulation sanguine, le maintien de l'intégrité de l'épiderme. Rôle dans la diminution du taux de cholestérol sanguin.
Acide dihomogamma-linolénique (DGLA)	Rôle dans la protection des artères et du cœur. Stimule l'immunité. Effets anti-inflammatoires.
Acide arachidonique (AA)	Rôle dans la cicatrisation et la guérison des blessures. et dans la réaction allergique.

- Les oméga-9 :

Les AGMI de la série $\omega 9$ constituent la dernière famille d'acides gras, l'acide gras principal est représenté par l'acide oléique : il ne s'agit toutefois pas d'un AG essentiel car l'organisme est capable de le synthétiser.

Ils seront retrouvés principalement dans les huiles végétales à base d'olive, ainsi l'organisme peut puiser dans notre alimentation pour satisfaire ses besoins en $\omega 9$.

Selon l'*American Heart Association*, la moitié des graisses consommées devraient provenir des $\omega 9$, un quart des AGPI $\omega 3$ et $\omega 6$, et le dernier quart pour les AGS ; représentant au minimum 30% des AET selon les nouvelles recommandations du PNNS. (31)

2.2.4.2 Intérêts

Les acides gras mono-insaturés jouent plusieurs rôles importants, dont la prévention de l'athérosclérose. Les acides gras polyinsaturés, dont les deux principales classes sont les $\omega 3$ et $\omega 6$, représentent une classe particulière de lipides qui semble intéressante dans le domaine du sport et de la santé. (86)

Une relation inverse est observée entre la prise d' $\omega 3$ et le taux de mortalité lié aux maladies coronariennes, une consommation moyenne allant de 250-500mg d'EPA et de DHA diminue le risque relatif de décès de plus de 25%, cependant des consommations plus importantes ne diminuent pas plus ce risque : il y a donc existence d'un effet seuil. Ces bénéfices sont attribuées à la consommation de poissons gras (saumon, sardine) plutôt que maigres (morue, flétan). (87)

La consommation régulière en $\omega 3$ et DHA notamment améliore les facteurs de risque CV comme la PA, les TG, l'agrégation plaquettaire, le dysfonctionnement épithélial et enfin l'arythmie ; ces effets apparaissant en quelques semaines. (87) (88)

Certaines études font état d'une diminution de la masse grasse, qu'il y ait ou non une restriction alimentaire associée mais ceci reste controversé. (89)

Il semble cependant qu'une supplémentation nutritionnelle en $\omega 3$, combinée à une activité physique en aérobie, contribuerait à améliorer le profil lipidique chez des personnes en bonne santé, et semble efficace dans le traitement des dyslipidémies. (90) (91)

Chez les sportifs de force le risque de blessure dû à la charge utilisée peut parfois provoquer une inflammation au niveau tendineux et/ou ligamentaire, il apparaît qu'une supplémentation en lipides et plus particulièrement en $\omega 3$ est bénéfique sur l'inflammation liée à l'exercice physique.

Ceci s'explique par une compétition entre les prostaglandines anti-inflammatoires issus de l'EPA ($\omega 3$) et ceux pro-inflammatoires issus de l'acide arachidonique ($\omega 6$) au profit d'une inhibition de ces derniers : ainsi il y aura prédominance des effets anti-inflammatoires. Les AGPI $\omega 3$ inhibent aussi la production de cytokines pro-inflammatoires telles que le $\text{TNF}\alpha$, $\text{IL-1}\beta$ et IL6 , ceci étant dû à leur incorporation dans les membranes des cellules mononuclées. (92) (93)

Chez le sportif la supplémentation en lipides ne semble présenter aucun bénéfice sur la performance physique contrairement aux glucides ; au contraire il apparaît un déséquilibre du profil lipidique chez de nombreux sportifs en raison d'une restriction des apports lipidiques (<25% AET) touchant les AG de la série $\omega 3$ malgré un apport lipidique satisfaisant de l'ordre de 1,5g/kg/j.

Ces déséquilibres lipidiques chez les sportifs sont corrélés à une alimentation dont la ration glucidique est déficitaire, de l'ordre de 5g/kg/j : les auteurs concluent qu'un « *apport glucidique optimal est indispensable à la satisfaction des besoins lipidiques du sportif* ». (94) (95)

Une supplémentation en $\omega 3$ peut donc paraître nécessaire en vue d'améliorer le profil lipidique et ainsi éviter tout déséquilibre de l'organisme, toutefois ceci est possible en corrigeant l'alimentation en adoptant un régime proche du régime crétois, à savoir riche en AGMI, pauvre en AGS, ainsi qu'une consommation journalière en AGPI $\omega 3$ et $\omega 6$ sans toutefois excéder les apports recommandés concernant les $\omega 6$.

En pratique cela se traduira par une réduction de la consommation d'huile de tournesol ne contenant pas d' $\omega 3$ au profit d'une augmentation de la consommation d'huile de colza et d'huile d'olive, sans oublier les poissons gras contenant des AGMI $\omega 9$, des $\omega 3$ et $\omega 6$, ainsi que des antioxydants.

2.2.5 La Créatine

2.2.5.1 Présentation

Découverte au début du 19^e siècle par le scientifique français Michel Eugène Chevreul, la créatine (Cr) est aujourd'hui très étudiée et est à l'origine de nombreuses études à l'origine des allégations de la créatine dans le sport, elle est actuellement très répandue dans le monde du sport (culturistes, lutteurs, rameurs ...).

La créatine est la molécule de « stockage » d'ATP, en effet lors d'un effort bref et intense, la production d'ATP ne peut satisfaire immédiatement la demande en énergie car les voies de production d'énergie (glycolyse anaérobie) ne sont pas disponibles de suite ; ainsi la créatine intervient dans ce contexte en créant très rapidement de l'énergie en permettant le passage d'une molécule d'ADP en ATP en cédant un groupement phosphate.

Cependant la créatine ne constitue aucunement une forme d'énergie entre les tissus, les réserves de phosphocréatine (PCr) étant limitées dans le muscle : cet apport d'énergie très limité permet une autonomie supplémentaire de seulement 5-10 secondes. (25)

La créatine est ainsi devenue une substance ergogénique représentant une part importante des CA utilisés dans les sports de force, arguant que si les réserves musculaires en phosphocréatine peuvent être augmentées, cela reporterait ainsi sa déplétion et donc améliorerait favorablement les capacités à fournir un effort bref et très intense.

2.2.5.2 La créatine dans l'organisme

La créatine est naturellement présente dans l'alimentation, on la retrouve en grande quantité dans la viande et le poisson, ainsi environ 1g de créatine est absorbée par jour. La créatine est également synthétisée par l'organisme en particulier par le foie et les reins : elle est issue de l'assemblage d'AA avec comme précurseurs la glycine, la méthionine, et l'arginine. (53)

La créatine ainsi formée est majoritairement stockée dans les muscles squelettiques (95%) mais également au niveau du cerveau.

Dans le muscle squelettique, elle est retrouvée sous deux formes : une forme phosphorylée représentée par la PCr à hauteur de 67%, et une forme libre (Cr) non phosphorylée d'environ 30% ; cette teneur en créatine musculaire peut varier selon leur typologie avec 30% de Cr de plus dans les fibres musculaires blanches en comparaison des fibres musculaires rouges.

La synthèse endogène de créatine peut être augmentée lorsque l'équilibre alimentaire n'est pas respecté est que la disponibilité alimentaire en Cr est faible : ainsi chez les végétaliens l'apport en Cr est presque nul et provient entièrement de cette synthèse endogène, chez la personne respectant les recommandations d'ANC, la Cr provient de l'alimentation à hauteur de 50% et le reste par la synthèse endogène.

- Métabolisme de la créatine :

Après absorption intestinale, la Cr est essentiellement captée par le muscle squelettique où elle sera transformée en PCr favorisant ainsi sa rétention dans le muscle. Elle sera par la suite transformée de façon réversible en Cr, puis en créatinine de façon irréversible, toujours au niveau du muscle même. La créatinine est excrétée dans l'urine, parfois également au niveau sudoral ; cette excrétion urinaire (environ 2g/j) est augmentée lors de l'exercice physique. Lors d'exercices répétés et intenses, la PCr est transformée en Cr qui va rapidement redonner de la PCr, il y a donc une utilisation des mêmes molécules et ceci de nombreuses fois.

Il n'y a pas d'ANC en Cr puisqu'elle peut être synthétisée par l'organisme et peut répondre aux besoins de l'organisme selon des mécanismes ajustables : cependant une estimation des besoins a été réalisée et évalue le besoin en Cr à hauteur de 2g/j. (96)

- Fonctions métaboliques de la créatine

Comme présenté plus haut dans cette étude, l'ATP est la seule molécule utilisée par les myofilaments d'actine et de myosine : ceci permet la contraction musculaire lors de l'effort. Du fait de ces réserves très faible, l'ATP doit être très vite resynthétisée à partir de l'ADP par l'intermédiaire de la PCr, celle-ci étant 3-4 fois plus abondante que l'ATP dans le muscle ; elle va permettre très rapidement la régénération de l'ATP en fournissant un phosphate riche en énergie à une molécule d'ADP grâce à la Créatine Kinase.

La Cr sera par la suite resynthétisée en PCr, en effet la réaction : $\text{PCr} + \text{ADP} \rightarrow \text{Cr} + \text{ATP}$ est réversible. L'ATP proviendra par la suite des autres filières énergétiques que sont la voie anaérobie lactique et la voie aérobie alactique. (26)

La PCr sert avant tout de filière énergétique et correspond à la voie anaérobie alactique, elle a une disponibilité presque immédiate même si les réserves sont limitées : ainsi la voie de la PCr est très utile pour les exercices de très forte intensité et de courte durée, ou bien pour les changements rapides de puissance comme l'haltérophilie, la natation courte distance, et le sprint.

D'autres fonctions ont été attribuées à la créatine comme un rôle tampon de l'équilibre acide-base, ou le rôle de molécule-signal augmentant la pression osmotique et la synthèse protéique.

2.2.5.3 Effets d'une supplémentation en créatine

De nombreuses études au sujet de la créatine existent mais avec des résultats différents, il est ainsi difficile aujourd'hui de se positionner tant les conclusions diffèrent à ce sujet.

L'ANSES a cependant publié un rapport sur l'utilisation de la créatine, ses effets, et ses dangers potentiels, ce qui a permis d'établir différents éléments : (96)

- étant donné que la créatine est apportée par l'alimentation et synthétisée par l'organisme en quantité suffisante, aucune carence n'a été apportée parmi les populations sportives.
- l'ingestion de créatine permet une augmentation de la teneur en Cr intramusculaire de l'ordre de 18-20%, cependant aucune étude n'a montré une augmentation de l'ATP intramusculaire lors d'une supplémentation.
- aucune étude n'a démontré que l'utilisation de la créatine en supplémentation permet d'augmenter l'anabolisme musculaire et donc d'optimiser la prise de masse ; la prise de masse sous créatine est seulement due à la rétention hydrique que provoque la créatine : cette rétention d'eau peut se traduire par une prise de poids allant jusqu'à 6% supplémentaire, survenant dès les premiers jours de prise.
- selon ce rapport aucune étude n'a mis en évidence une augmentation de la force, de la vitesse de course ou de la hauteur de saut suite à la prise de créatine. De plus, la créatine ne permet pas également d'améliorer l'endurance, la fatigue, ou la motivation donc toute allégation faisant référence à un effet bénéfique d'une supplémentation en créatine sur des exercices sportifs relevant de la filière aérobie (supérieure à 30 secondes) n'est pas fondée.
- toutefois, la prise de Cr permet d'améliorer la répétition d'exercices courts et intenses, pour une durée d'exercice inférieure à 15 secondes caractérisés par un meilleur maintien lors de la répétition de mouvements relevant des forces isométriques, isotoniques, ou isocinétiques ; un meilleur maintien de la vitesse du sprint court et/ou répété ; un meilleur maintien de la

hauteur lors de détente verticales répétées. Ces allégations sont fondées avec toutefois des effets observés inconstants

De nombreux industriels vantent les mérites d'une supplémentation en créatine chez le sportif en vue d'une amélioration de la puissance, une augmentation de la masse musculaire ainsi qu'une amélioration de l'endurance sous couvert de nombreuses études confirmant ces allégations : toutefois certaines études manquent de rigueur scientifique, c'est pourquoi ces allégations doivent être confirmées scientifiquement sans occulter les possibles conflits d'intérêts.

2.2.5.4 Les différentes créatines

La créatine est disponible sous différentes formes comme des poudres, gel, sirop, tablettes et est soit seule, soit associée à des glucides ou des protéines ; ainsi différentes formes de créatines ont vu le monde et permettent de répondre aux différentes exigences que peut avoir le sportif. (9)

❖ Créatine monohydrate :

Elle représente la créatine sous sa forme la plus simple, avec comme allégation une meilleure efficacité que sous forme de citrate, elle contient environ 900mg de créatine et son taux de conversion en créatinine est très faible.

❖ Créatine Kre-alkalyn® :

Cette forme de créatine se veut la plus stable et avec une assimilation parfaite : en effet plus le pH est acide et plus la dégradation de la créatine augmente. La créatine Kre-alkalyn® est donc une créatine en poudre tamponnée à pH basique afin d'éviter sa dégradation dans l'estomac où le pH est acide. Cependant il apparaît que la dégradation de la créatine sous forme de monohydrate est seulement d'1% dans l'estomac, ce qui n'est pas significatif : en outre des études ont montré que cette forme de créatine alcaline était moins efficace que la forme monohydrate standard. (97)

❖ Créatine Créapure® :

Elle représente la forme la plus pure de créatine monohydrate puisqu'elle ne contient que peu de résidus de fabrication comme la dihydrotriazine et le dicyandiamide, pouvant altérer la qualité du produit fini et dont la toxicité n'est pas connue à l'heure actuelle.

La créatine Créapure® est ainsi très bien assimilée par l'organisme, ce qui en théorie permet de maximiser les résultats attendus.

❖ Créatine effervescente :

Elle représente la créatine monohydrate sous forme effervescente, permettant ainsi d'améliorer son absorption et sa digestion par l'organisme. Un apport de 1g de Cr effervescente est ainsi équivalent à environ 3g de Cr monohydrate simple.

❖ Créatine phosphate :

Cette créatine sous forme de sel de phosphate est directement assimilée par les muscles, elle présente cependant un profil d'effets indésirables négatifs avec une mauvaise tolérance sur le plan digestif (crampes, vomissements).

2.2.5.5 La créatine chez le sportif

La quantité moyenne de Cr est environ de 120g pour un individu de 70kg équivalente à 120mmol de Cr par kg de muscle sec. Il existe une certaine variabilité interindividuelle des teneurs avec cependant un plafond, même lors de supplémentation ne dépassant pas, en moyenne, 160 mmol/kg de muscle sec soit l'équivalent de plus de 160g chez les sportifs.

Du fait de son excrétion urinaire augmentée lors de l'exercice et en raison des dégradations protéiques supplémentaires chez le sportif, le besoin en Cr est estimé à environ 4g/j : cependant compte tenu d'un apport en protéines satisfaisant pleinement les ANC voire même les dépassant largement chez les sportifs les besoins en Cr sont souvent couverts.

La créatine peut donc être intéressante pour les sportifs réalisant des exercices en puissance anaérobie, on la retrouve donc dans l'athlétisme chez les sprinteurs et les sauteurs, chez les nageurs, et bien sûr chez les haltérophiles et plus largement chez les pratiquants de musculation.

Elle ne présente cependant aucun intérêt dans les sports d'endurance comme le marathon ou le cyclisme, donc en exercice aérobie ; au contraire elle majore le risque de déshydratation et donc de crampes dans ce type de sport.

2.2.5.6 Usage de la créatine

La créatine est à destination des sportifs de niveaux intermédiaires et avancés pratiquant les sports de force et donc la musculation, elle n'est d'aucun intérêt chez le sportif débutant.

La créatine est parfois l'objet d'une surconsommation par les pratiquants durant un court laps de temps, une semaine environ, on parle alors de dose de charge (0,3g/kg) : elle est caractérisée par un apport 4-5 fois supérieur à la dose d'entretien (0,03g/kg), ce qui représente environ 20g de créatine par jour répartis en 3-4 prises. En comparaison, l'apport de créatine lors de la dose de charge est comparable à la consommation de 4kg de viande par jour, ce qui peut être dangereux pour la santé du sportif.

Cette dose de charge peut être plus progressive avec un apport de 3g/j pendant un mois suivi d'une dose d'entretien allant de quelques semaines à quelques mois : la presque totalité sera absorbée et tout excès, non fixée dans le muscle, sera rejetée dans les urines.

Plusieurs études ont ainsi montré que cet apport excessif en créatine n'a pas d'impact sur la performance, et que de telles doses (20 g/j) ne sont pas nécessaires, puisque le même effet est obtenu avec seulement une dose de 3g/j ! (98)

Cet excès de créatine s'ajoute à celle de l'alimentation mais va remplacer la synthèse endogène de cette dernière en l'inhibant, de nombreux sportifs ne savent pas quelle quantité de créatine ils ingèrent ce qui peut à long terme être néfaste pour la santé ou n'apporter aucun bénéfice. (95) (99)

Le consensus de nombreuses études scientifiques aujourd'hui sont en faveur d'une supplémentation en créatine à doses plus faibles (3-5g/j) sans passer par cette phase de charge.

Enfin, un usage de créatine occasionnel « à la séance » est aussi efficace qu'un usage continu, puisque les réserves de créatine musculaire chez un individu sans supplémentation sont pleines aux $\frac{3}{4}$. Ainsi une fois les réserves en créatine musculaire comblées, celles-ci peuvent le rester pendant plusieurs semaines en l'absence d'efforts physiques.

La créatine est à consommer avant l'effort ou immédiatement après l'effort, il est possible d'ajouter des glucides à IG élevé en association pour augmenter l'absorption de cette dernière.

2.2.5.7 Effets Indésirables de la créatine

Les effets indésirables principaux rencontrés lors d'une supplémentation en créatine sont peu nombreux mais peuvent cependant avoir de graves conséquences, on note ainsi : (96) (100)

- une déshydratation, en effet nous avons vu précédemment que la créatine favorise l'entrée d'eau dans les cellules musculaire et induit donc une rétention d'eau. Par précaution, nous devons donc préciser qu'en période de supplémentation en Cr, il ne faut pas négliger l'hydratation et donc conseiller aux sportifs de suivre les recommandations de 2L d'eau par jour au minimum. Toutefois certains auteurs ne considèrent pas la Cr comme étant la cause d'une déshydratation. (55)

- des troubles digestifs ont également été rapportés, tels que des nausées, vomissements, diarrhées et irritations gastriques, troubles présents principalement lors de la prise de créatine en dose de charge. La prise de créatine à dose d'entretien (3g/j) et de façon non continue permet de diminuer la survenue de ces effets indésirables.

- des crampes musculaires ont été décrites fréquemment, c'est l'effet indésirable le plus rapporté ; d'autres incidents ont été rapportés comme une élévation du taux plasmatique d'enzymes musculaire ou hépatique.

- d'autres troubles, plus graves, tels que des arythmies cardiaques, rhabdomyolyses et IR ont été rapportés ; cependant certains de ces troubles ne semblent pas directement imputables à la prise de créatine.

- aucune étude chez le sportif sain n'a montré un effet délétère des fonctions rénales (Cl créatinine, urée, micro-albuminurie) et ce même pour une ingestion de créatine de longue durée. (101) La créatine sera cependant déconseillée chez les personnes souffrant de troubles du rythme ou d'atteinte rénale même mineure.
- nous ajouterons que la créatine peut perturber la prise de sang, ceci étant dû à son métabolisme : la créatine sera métabolisée en créatinine, paramètre étudié pour détecter une IR, et peut donc entraîner des résultats faussement alarmants chez le sportif. Un retour à la normale est observé à l'arrêt de la supplémentation.
- des effets possibles mutagènes et oncogènes d'une supplémentation en créatine ont également été présentés, toutefois cela relève d'hypothèses devant être vérifiées en particulier à très long terme ; en pratique rien ne montre que la créatine puisse avoir de tels effets.

L'ANSES conclue que « *la supplémentation en créatine semble être un facteur déclenchant de pathologie chez des sujets prédisposés, que des mesures de prévention doivent dépister* ».

Le principe de précaution s'applique alors devant les possibles effets délétères et les risques potentiels d'une supplémentation en créatine sur l'organisme, alors même que la pratique d'une activité physique et sportive est censée être bénéfique pour la santé des pratiquants. L'ANSES va plus loin puisqu'en vue de ce principe de précaution cela « *conduirait à ne pas autoriser la prescription, ni la mise sur le marché et donc désormais à l'interdire* ».

La créatine est autorisée à la vente en France, sa consommation est autorisée et fait partie des compléments alimentaires, elle n'est pas jugée comme étant un produit dopant par le CNOSF ni par le CIO.

Toutefois, une supplémentation en créatine doit être encadrée par un professionnel de santé, médecin du sport et/ou pharmacien d'officine, au travers de produits dont la qualité et la traçabilité sont irréprochables.

2.2.6 Vitamines et minéraux

Les micronutriments sont des éléments non énergétiques, mais ne sont pas synthétisables par l'organisme, leur apport est donc indispensable et nécessaire au métabolisme et à la survie. Les micronutriments regroupent différentes familles, à savoir celles des vitamines, des minéraux et enfin celles des oligoéléments.

2.2.6.1 Les vitamines

Les vitamines sont essentielles à l'organisme en participant à de nombreuses réactions métaboliques. Elles ne sont pas synthétisables par l'organisme donc leur apport par l'alimentation les rend indispensables.

Les vitamines peuvent être classées en deux groupes : nous aurons d'une part les vitamines liposolubles, représentées par les vitamines ADEK, et d'autre part les vitamines hydrosolubles que sont les vitamines du groupe B et la vitamine C. (102)

Leurs actions dans l'organisme sont ainsi résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 15-Propriétés générales des Vitamines (9)

Micronutriment	Propriétés générales
Vitamine B1	Participe à la transformation des glucides et lipides en énergie. Un déficit entraîne fatigue physique et intellectuelle.
Vitamine B2	Participe au métabolisme des glucides, des lipides et des protéines. Contribue aussi à l'utilisation du fer.
Vitamine B3 (aussi appelée Vitamine PP)	Participe à la production de l'énergie cellulaire, des neurotransmetteurs et des hormones sexuelles. Une carence entraîne tristesse, fatigue et insomnie.
Vitamine B5	Agit à l'échelon du système digestif en favorisant la bonne assimilation des nutriments. C'est un précurseur métabolique du fameux coenzyme A.
Vitamine B6	Participe à l'absorption du magnésium, à la synthèse de neurotransmetteurs (sérotonine, dopamine), à la production d'énergie à partir du glycogène.
Vitamine B9 (aussi appelée acide folique)	Essentielle à la synthèse de l'ADN et au métabolisme de certains acides aminés. Une carence peut être responsable d'une grande fatigue.
Vitamine B12	Participe à la formation des globules rouges, à leur qualité et au bon fonctionnement du système nerveux.
Vitamine C	Contribue au maintien de la fonction immunitaire, active la cicatrisation des plaies, participe à la formation des globules rouges et augmente l'absorption du fer contenu dans les végétaux
Vitamine D	Elle est vitale pour la santé des os et des dents. Elle joue un rôle essentiel dans l'absorption du calcium et du magnésium.
Vitamine E	Antioxydant des membranes cellulaires, elle neutralise les radicaux libres, ralentit le vieillissement et l'altération du fonctionnement cellulaire.

2.2.6.2 Les minéraux

Les minéraux sont représentés par différents sels, parmi lesquels nous retrouvons le Sodium, le Potassium, le Calcium, le Phosphore, et le Magnésium.

A l'instar des vitamines, les minéraux sont essentiels au bon fonctionnement de l'organisme.

2.2.6.3 Les oligoéléments

Les OE représentent, avec les minéraux cités ci-dessus les différents composants de notre organisme d'origine minérale. Sont retrouvés dans les OE le Zinc, le Fer, le Cuivre, le Manganèse, l'Iode et enfin le Sélénium. Ces oligoéléments constituent des cofacteurs d'un grand nombre d'enzymes et permettent ainsi le bon fonctionnement de notre organisme. (103)

Les minéraux et les OE permettent un grand nombre de réactions et sont impliqués à travers différents niveaux dans l'organisme, leurs propriétés étant résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 16-Propriétés générales des sels minéraux et oligoéléments (9)

Micronutriment	Propriétés générales
Calcium	99% du calcium est concentré dans les os et les dents. Le reste joue un rôle essentiel dans la contraction musculaire et le bon fonctionnement du système nerveux.
Cuivre	Il contribue à la bonne absorption du fer, mais c'est aussi le cofacteur d'enzymes importantes dans la production d'énergie.
Fer	Il permet le transport de l'oxygène à travers l'hémoglobine et son stockage dans les muscles via la myoglobine. C'est aussi le cofacteur d'un grand nombre de réactions dans l'organisme.
Manganèse	Il intervient dans la fabrication des hormones, la production d'énergie et le métabolisme osseux.
Magnésium	Il joue un rôle dans un très grand nombre de réactions dans l'organisme, en particulier dans celles ayant trait à l'énergie. Il est indiqué lors de fatigues physique et mentale, de stress et pour soulager les crampes.
Molybdène et Chrome	Ils interviennent dans la modulation de l'action hormonale et immunitaire au travers de réactions enzymatiques.
Sélénium	Il intervient dans le bon fonctionnement des processus immunitaires, inflammatoires et musculaires.
Sodium et Potassium	Ils participent au bon équilibre de l'organisme, en particulier au bon fonctionnement des muscles et du système biologique.
Zinc	Il est essentiel à la synthèse protéique, donc à la croissance, à la multiplication cellulaire, à la fertilité... Il est régulièrement indiqué en cas de fatigue, d'apathie et de convalescence.

La supplémentation en vitamines, minéraux et OE chez le sportif mérite d'être posée au vu de leur disponibilité sur le marché des compléments alimentaires (ALVITYL®, ISOXAN®, AZINC®...); toutefois dans la grande majorité des cas une supplémentation ne semble pas nécessaire : aucune amélioration des performances n'a été signalée. (104) (105)

Ainsi, une alimentation équilibrée et respectant la pyramide d'inspiration crétoise permet de couvrir les ANC en vitamines, minéraux et OE chez le sujet sportif.

2.2.7 Autres compléments alimentaires

2.2.7.1 Brûleurs de graisse

Cette catégorie de CA s'adresse aux pratiquants de musculation ou autres sports de force désireux d'améliorer leur perte de masse grasse tout en réduisant la fonte musculaire induite par un régime hypocalorique lors de la « sèche » : ces CA s'adressent donc plutôt aux pratiquants non débutants.

2.2.7.1.1 CLA

Le CLA ou Acide Linoléique Conjugué est un mélange de différents types d'isomères de l'acide linoléique, l'isomère c9t11-CLA et le t10c12-CLA, l'acide linoléique étant, nous l'avons vu, le chef de file des oméga-6. Le CLA est retrouvé dans les produits laitiers ainsi que certaines viandes, il peut également être synthétisé par l'organisme en petite quantité.

Bien qu'il soit chimiquement lié à l'acide linoléique, le CLA a des effets contraires quant à l'utilisation des lipides comme substrats énergétiques ; en effet l'acide linoléique favorise la formation de tissus adipeux via le phénomène de lipogenèse alors que le CLA empêche cette formation en inhibant les enzymes impliquées dans la lipogenèse.

De plus, on observe une activité des lipases augmentée, ce qui accélère l'utilisation des triglycérides : le CLA est ainsi présenté comme un brûleur de graisses particulièrement intéressant pour aider à la perte de masse grasse. (106)

De nombreuses études ont été menées afin d'identifier les différents effets du CLA sur l'organisme et il semble que ces effets soient significatifs : en effet le CLA entraînerait une diminution de la graisse corporelle, une augmentation de la masse musculaire ainsi qu'une amélioration de l'endurance et une réduction de la fatigue, avec toutefois un apport de CLA en moyenne allant de 3 à 6g/j selon les études. (107) (108) (109)

Ces résultats sont toutefois inconstants et certaines études ne rapportent aucun effet du CLA sur l'organisme, malgré une supplémentation sur une longue période. (110)

En outre, le CLA aurait également une action au niveau du métabolisme glucidique en plus de son action au niveau lipidique : les différents effets du CLA sur l'organisme sont ainsi décrits dans le tableau ci-dessous. (111)

Tableau 17-Effets du CLA sur l'organisme (9)

Effets du CLA sur le métabolisme glucidique	Effets du CLA sur le métabolisme lipidique
Augmentation de la concentration sanguine d'insuline	Augmentation de la lipolyse [voir lexique]
Augmentation de la captation du glucose par les muscles	Diminution de la lipogenèse
	Augmentation de la mobilisation des acides gras
	Diminution de la taille des adipocytes

Les effets indésirables d'une supplémentation en acide linoléique conjugué à long terme sont inconnus à ce jour en raison du nombre limité d'études à long terme ; il apparaît cependant à court terme que ces effets indésirables soient principalement des troubles digestifs (nausées, vomissements, diarrhées).

2.2.7.1.2 L-Carnitine :

En raison de l'action de la carnitine sur le métabolisme lipidique, de nombreux CA à base de L-carnitine existent aujourd'hui et sont présentés comme brûleurs de graisse à destination des sportifs visant une réduction de leur masse grasse.

Nous avons vu dans la partie consacrée aux lipides que la carnitine intervient pour permettre l'entrée des AG dans la mitochondrie afin d'être utilisés par la suite comme substrats énergétiques. L'intérêt d'une supplémentation en carnitine vise à accélérer ce processus et donc en théorie augmenter la proportion d'AG utilisés par l'organisme.

Cependant des études ont mis en évidence qu'une telle supplémentation n'a pas d'intérêt chez des individus non carencés en carnitine mais améliore les capacités physiques chez les sujets ayant un défaut du métabolisme mitochondrial. (112)

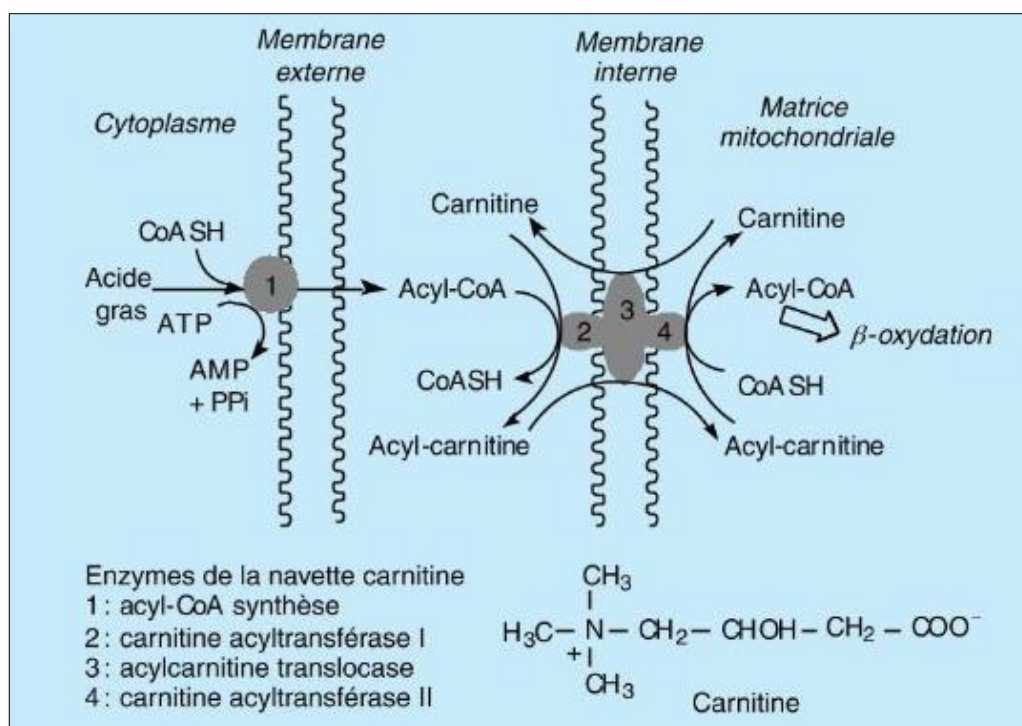


Figure 23-Carnitine et métabolisme des acides gras (27)

La L-carnitine est synthétisée par l'organisme à partir de deux AA essentiels que sont la méthionine et la lysine, apportés par l'alimentation. Par ailleurs les viandes constituent la meilleure source d'apports en L-carnitine (200g steak bœuf = 120mg L-carnitine), et la majorité des pratiquants de musculation ont des apports protéinés largement satisfaisant ce qui exclut une possible carence en L-carnitine.

D'autres études soulignent l'intérêt d'une supplémentation en L-carnitine dans la population sportive : les premières recherches semblent indiquer des effets bénéfiques sur les performances physiques (augmentation de la consommation maximale d'oxygène, puissance plus élevée), la récupération après l'effort semble également être impactée ainsi qu'un possible rôle dans l'augmentation de la masse musculaire associée à une réduction pondérale. (113) (114)

2.2.7.1.3 Caféine

La caféine ou 1,3,7-triméthylxanthine appartient à la famille des méthylxanthines, c'est une molécule présente dans de nombreuses plantes comme le café, le guarana, le thé, et la noix de kola ; elle peut également être produite industriellement par synthèse chimique. (115)

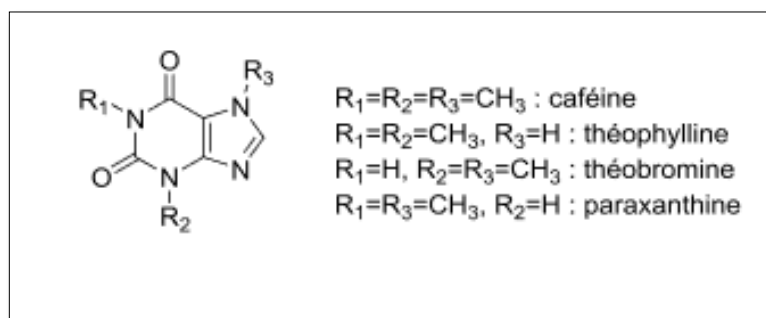


Figure 24-Caféine et autres bases xanthiques (100)

La caféine stimule le système nerveux, il s'agit donc d'un psychostimulant ; les effets de cette stimulation sont nombreux et très intéressants pour les sportifs : (116) (117)

- la caféine permet de retarder le seuil d'épuisement du sportif lors d'exercices aérobies et donc de lutter contre la fatigue.
- elle entraîne une augmentation de la concentration plasmatique en glycérol chez les sujets entraînés : de par son activité lipolytique la caféine va stimuler le découpage des TG en libérant du glycérol et des AG, ces derniers seront par la suite utilisés comme substrats énergétiques via leur oxydation. Elle a donc son intérêt dans le cadre d'une réduction de la masse grasse, en association avec une activité physique.

- elle augmente et améliore la vigilance.
- elle stimule la sécrétion d'Ad et Nad qui vont accélérer le phénomène de glycogénolyse afin de libérer in fine du glucose pour la production d'énergie.
- la consommation de caféine avant l'effort ou pendant un effort de longue durée présente de réels bénéfices, ceci est cependant discuté pour des exercices intenses et de courte durée.

Les principaux effets indésirables de la caféine doivent être connus et reconnus du sportif, ces effets indésirables pouvant parfois être graves à hautes doses : il est fréquemment retrouvé des troubles neuropsychiatriques (nervosité, irritabilité, anxiété), des tremblements, des troubles cardiovasculaires (arythmie, tachycardie), une augmentation de la diurèse, une élévation de la température corporelle et des troubles du sommeil (insomnie, réduction de la durée et de la qualité du sommeil). (100)

Ces effets sont doses-dépendants mais également personnes-dépendantes, certaines seront plus sensibles aux effets de la caféine que d'autres, cependant l'EFSA a ainsi estimé que la caféine ne présente pas d'effets indésirables dans la population générale pour des doses inférieures à 400mg/j, l'apport maximal recommandé chez les femmes étant de 300 mg et de 400mg chez les hommes. (118)

Néanmoins, ces effets stimulants de la caféine s'ajoutent à ceux d'autre substances, plantes, boissons ou médicaments stimulants, elle peut augmenter les effets de certains analgésiques et réduire les effets de certains sédatifs.

Il est donc indispensable pour le pharmacien d'officine de questionner les potentiels utilisateurs de CA à base de caféine de la présence ou non de traitements médicamenteux et vérifier toute interaction potentielle avec ces derniers mais également avec d'autres CA.

2.2.7.2 Testostérone et compléments alimentaires

2.2.7.2.1 Le « ZMA » : Zinc et Magnésium

Le ZMA est une marque déposée de compléments alimentaires visant à améliorer le sommeil et la récupération, ainsi que la production naturelle de testostérone.

Le ZMA est un CA breveté composé de monométhionine de zinc à 30mg, d'aspartate de magnésium à 450mg et de 10,5mg de vitamine B6. Pour avoir l'appellation de ZMA ces quantités doivent être respectées et utiliser les mêmes formes spécifiques de zinc et de magnésium. La vitamine B6 a pour rôle d'améliorer l'assimilation de ces derniers.

Le zinc et le magnésium servent de cofacteurs à la production d'hormones anabolisantes, ainsi toute carence en zinc et magnésium peut réduire la production d'hormone comme la testostérone ; la consommation de magnésium va en outre améliorer le sommeil et donc la récupération. (119)

Peu d'études confirment ces allégations, seules quelques études semblent prouver l'efficacité du ZMA dans la production de testostérone mais sont principalement issues du fabricant ce qui peut être source de conflits d'intérêts.

Ainsi le ZMA peut être utilisé par les sportifs, non pas dans le cadre d'une augmentation de testostérone mais s'ils présentent des troubles du sommeil. Cependant la supplémentation en ZMA n'est pas nécessaire si le plan alimentaire est adapté et respecte les apports nutritionnels conseillés. (120)

2.2.7.2.2 Le Tribulus

L'extrait du Tribule terrestre ou *Tribulus terrestris* L est souvent retrouvé dans les CA vantant une augmentation de la production de testostérone, le *T. terrestris* est une plante annuelle rampante de la famille des Zygophyllaceae et contient de nombreux composés tels que des saponines, des flavonoïdes et des alcaloïdes. (121)

Cette plante, non référencée dans la Pharmacopée française et européenne, est utilisée en médecine traditionnelle pour le traitement de diverses maladies dont les dysfonctions sexuelles masculines et féminines, elle est le plus souvent utilisée pour l'infertilité et la perte de libido. (122) (123)

Au vu de ses propriétés, une supplémentation en *T. terrestris* peut paraître adéquate, en particulier chez les sportifs de force ; toutefois ces allégations n'ont pas été confirmées par les récentes études. En effet, la prise de *T. terrestris* chez différents athlètes et sur différentes durées ne semble pas avoir d'effet sur l'augmentation de la force musculaire, ni sur la perte de masse grasse, ni sur l'augmentation de la concentration de testostérone. (124) (125)

Cependant une augmentation de la testostérone et de la libido a été mise en évidence chez les animaux, mais n'a pas été observée chez des sujets sains ; en revanche une supplémentation en *T. terrestris* permet d'augmenter la concentration de testostérone lorsque celles-ci sont inférieures aux niveaux physiologiques sans toutefois provoquer de changements chez les sujets dont les concentrations initiales de testostérone sont dans les valeurs normales. (126) (127)

Le *T. terrestris* peut donc présenter un intérêt chez les sportifs de force, même si ses effets demeurent limités et inconstants. Concernant son profil d'effets indésirables peu d'effets indésirables sont à signaler dans les spécialités vendues en pharmacie, ces spécialités sont ainsi à privilégier de celles vendues sur internet où la composition des CA n'est pas clairement établie et contenant potentiellement des substances dopantes aux conséquences néfastes pour la santé.

2.3 Le risque de dopage

Nous ne traiterons volontairement pas du dopage intentionnel en détail dans notre étude, il s'agit d'avoir une idée globale sur la question.

2.3.1 Le dopage

2.3.1.1 Définition

Selon la définition du Comité International Olympique, « *est qualifié de dopage :*

1. l'usage d'un artifice (substance ou méthode) potentiellement dangereux pour la santé des athlètes et/ou susceptibles d'améliorer leur performance ;

2. la présence dans l'organisme de l'athlète d'une substance ou de la constatation de l'application d'une méthode qui figure sur la liste annexée au présent code ».

Le dopage est un terme réservé au monde du sport, il représente la pratique du sportif, peu importe le niveau, amateur ou professionnel, à consommer des produits interdits. Une liste de ces produits dopants existe et est réactualisée tous les ans par l'agence mondiale antidopage (AMA) et repris par les textes de loi. (128)

Aujourd'hui le terme «conduite dopante » est également utilisé, introduit par le médecin Patrick LAURE et qualifie l'usage d'une substance dont le but est d'optimiser la performance physique ou psychique afin d'affronter ou surmonter un obstacle réel ou ressenti, quelle que soit la personne et la substance consommée. Le dopage fait donc partie des conduites dopantes et ne concerne que les sportifs alors que les conduites dopantes concernent le grand public. (129)

2.3.1.2 Règlementation

Les produits interdits comportent de nombreuses familles chimiques et sont classés selon différents volets : (130)

- Les substances interdites en permanence :

On retrouve dans cette classe les agents anabolisants, les agents stimulants de l'érythropoïèse ou ASE, les hormones et modulateurs hormonaux, les β 2-agonistes, et les diurétiques.

- Parmi les agents anabolisants se trouvent les stéroïdes androgènes anabolisants (ou SAA), souvent utilisés dans les sports de culturisme et de force : à titre d'exemple on retrouve comme chef de file la testostérone et ses dérivés (danazol, nandrolone etc.) et d'autres agents anabolisants comme le clenbutérol ou la tibolone. Ils permettent d'augmenter la masse musculaire d'où leur mésusage mais sont également responsables de nombreux effets indésirables.

- Les ASE sont également souvent impliqués dans les scandales de dopage et notamment l'érythropoïétine (EPO) et ses dérivés dans le cyclisme ; ils permettent d'augmenter la production d'érythrocytes ce qui permet un meilleur transport de l'oxygène et donc une amélioration de l'endurance et des performances.

- Différentes hormones telles que l'insuline, l'hormone de croissance et leurs dérivés font partie des substances retrouvées fréquemment chez les culturistes et leur utilisation illégale présente un risque pour la santé des utilisateurs.

- Les β_2 agonistes sélectifs et non sélectifs que sont le formotérol, la terbutaline, le salbutamol et autres sont interdits avec toutefois une exception pour le salbutamol, le formotérol et le salmétérol inhalés sans excéder une valeur seuil à ne pas dépasser. Leur mésusage s'explique par leur mécanisme d'action bronchodilatateur améliorant ainsi les capacités respiratoires et donc les performances qui en découlent.

- Les diurétiques tels que le furosémide ou l'hydrochlorothiazide sont également détournés de leurs indications principales et ce pour deux raisons : ils permettent d'une part d'augmenter les pertes hydriques ce qui se traduira par une perte de poids, et d'autre part de favoriser l'élimination des agents dopants avant une compétition en vue d'un contrôle.

- Les substances interdites en compétition :

En compétition les molécules interdites sont représentées par les stimulants, les narcotiques, les cannabinoïdes et les corticoïdes.

- Sont inclus dans les stimulants la cocaïne et dérivés amphétaminiques ainsi que des molécules commercialisées en pharmacie comme l'heptaminol (retrouvé dans l'HEPTAMYL® mais arrêt de commercialisation depuis février 2018) ou la pseudo-éphédrine.

- Les narcotiques regroupent la morphine et ses dérivés comme le fentanyl et la méthadone, et induisent une dépendance physique et psychique ; les cannabinoïdes (le THC est le plus connu) peuvent également être à l'origine des mêmes effets.

- Les glucocorticoïdes où l'on retrouve par exemple la cortisone et la prednisone sont tous interdits quel que soit la voie d'administration : ils sont utilisés pour leur effet anti-inflammatoire.

- Les substances interdites dans certains sports :

Les β -bloquants font partie des substances interdites seulement dans certains sports, en compétition et parfois même hors compétition : l'aténolol et le bisoprolol sont les plus représentés et sont utilisés pour leur action bradycardisante et ainsi diminuer le stress chez le sportif.

La loi en matière de dopage repose sur un volet préventif mais également répressif, le Ministère des Sports met en œuvre des campagnes de sensibilisation au dopage chez les sportifs et procède parfois à des contrôles lors des compétitions ou entraînements. Se basant sur la liste des substances et procédés interdits cités auparavant, les sportifs s'adonnant à ces pratiques s'exposent à des sanctions sportives et pénales

2.3.2 Dans les compléments alimentaires

2.3.2.1 Cas de substances dopantes

En perpétuelle quête de performance, le sportif est souvent à la recherche de produits susceptibles d'optimiser ses capacités physiques ; la consommation de ces produits chez le sportif encadré par des professionnels de santé ne fait pas de la complémentation alimentaire une conduite dopante.

En effet le respect des ANC de la population générale et celle des sportifs est loin d'être respectée selon les résultats de l'étude INCA3 (étude individuelle des consommations alimentaires) : une supplémentation peut donc parfois être nécessaire.

Les risques d'une contamination (intentionnelle ou non) des CA par des substances dopantes existent et sont fréquentes, l'ANSES a ainsi publié un rapport relatif aux risques liés à la consommation de CA destinés aux sportifs visant le développement musculaire ou la diminution de la masse grasse. (100)

Des substances dopantes comme la pseudoéphédrine, la strychnine, et des hormones anabolisantes proches de la testostérone ont ainsi été retrouvés dans les CA et les boissons de l'effort à destination du sportif. (131) Certains sportifs se retrouvent ainsi positifs lors de contrôles par les instances sportives malgré une supplémentation se voulant « naturelle » : ce dopage n'est donc pas de leur fait mais dû aux CA. (132)

Le même constat est établi dans une étude réalisée pour le CIO et qui montre que parmi plus de 600 CA utilisés par les sportifs, plus de 15% d'entre eux contenaient des substances dopantes interdites non renseignées sur l'étiquetage. (133)

2.3.2.2 L'achat de compléments alimentaires

L'intérêt d'une complémentation nutritionnelle chez le sportif est réel et nous amène à se poser la question des origines de ces derniers : ils sont disponibles à la vente sur internet, dans les magasins de sport et enfin en pharmacie d'officine.

Les CA issus d'internet représentent la principale solution d'achat, ils proviennent de différents pays où la législation en matière de sécurité alimentaire est plus souple qu'en France : le risque de contamination des CA par des substances dopantes ou par des métaux lourds est donc plus élevé, avec parfois des conséquences potentiellement mortelles chez le consommateur. (134)

Il est ainsi préférable d'opter pour des CA dont le sérieux du laboratoire et la qualité des produits sont reconnus afin de préserver la santé des consommateurs ; des labels de qualité sont aujourd'hui nombreux et attestent des bonnes pratiques de fabrication que l'industriel met en œuvre pour assurer une protection contre le dopage. Le label SPORT PROTECT apparu en 2012 en est un exemple et permet ainsi d'assurer un label qualité, s'appuyant sur la norme NF V94-001. (135)

L'achat de compléments alimentaires est également possible dans les magasins spécialisés et en officine, où le risque d'adultération des CA est le plus faible.

2.3.3 Au comptoir

Au comptoir, le risque de dopage existe et il est parfois recherché par certains pratiquants : il convient cependant de distinguer le dopage intentionnel et non intentionnel.

De nombreux médicaments sont disponibles assez facilement, parfois même sans ordonnance et contiennent des substances qualifiées de dopantes pour la pratique sportive : nous pouvons par exemple citer la pseudo-éphédrine contenue dans de nombreuses spécialités telles que ACTIFED[®], DOLIRHUME[®], ou bien RHINADVIL[®], indiquées dans le traitement symptomatique de la congestion nasale lors d'épisodes rhinopharyngés.

D'autres médicaments souvent rencontrés en officine tels que la VENTOLINE[®] Salbutamol, ou le LASILIX[®] Furosémide sont détournés de leurs indications principales par certains pratiquants dans l'optique d'améliorer leur performance.

Les agents anabolisants représentés par les stéroïdes sont disponibles en officine comme l'ANDROTARDYL[®] Testostérone et ses dérivés comme le DECA-DURABOLIN[®] Nandrolone ; mais également les hormones que sont l'insuline, l'EPO, ou encore la somatotropine (hormone de croissance) retrouvées dans des spécialités telles que la NOVORAPID[®] Insuline aspartate, l'EPREX[®] Epoïétine-alpha, ou l'OMNITROPE[®] Somatotropine à titre d'exemples.

Malgré une délivrance uniquement sur ordonnance, permettant en théorie de limiter le risque d'utilisation et donc de dérives de ces produits, certains pratiquants réussissent à se les procurer parfois même en toute légalité puisque prescrits par leur médecin ou parfois délivrés de façon frauduleuse en pharmacie. (136) (137)

Il convient donc au pharmacien de prévenir ce risque de dopage chez les sportifs et de les en informer puisque les officines, nous venons de le voir, constituent un circuit potentiel d'utilisation de ces produits, responsables d'effets néfastes sur l'organisme.

2.3.4 Risques pour la santé

Les compléments alimentaires destinés aux sportifs présentent des risques quant à leur contamination possible par des substances dopantes nocives pour la santé, ainsi de nombreux signalements d'effets indésirables susceptibles d'être liés à leur consommation ont été rapportés à l'ANSES sur une période s'étalant depuis 2009 jusqu'à 2016 et au nombre de 49. (138)

Les compléments alimentaires visant le développement de la masse musculaire ou la diminution de la masse grasse sont particulièrement visés en raison de leur adultération possible par des substances dopantes diverses.

Les effets indésirables rencontrés sont surtout d'ordre cardiovasculaires puis moins fréquemment des effets indésirables d'ordre hépatiques, néphrologiques, neurologiques, parfois dermatologiques et enfin gastro-entérologiques.

❖ Effets indésirables cardiovasculaires :

Les principaux effets indésirables rapportés sont une arythmie, une agitation, une tachycardie, avec un risque d'accident cardiovasculaire majoré si présence de nombreuses substances agissant au niveau cardiaque : ainsi des infarctus du myocarde ont été rapportés et ce chez des individus en bonne santé, des accidents vasculaires cérébraux, et des morts subites causées par une hémorragie cérébrale.

L'imputabilité de ces effets indésirables a été confirmée suite à la consommation de ces CA contenant des substances telles que la caféine associée à la p-synéprine ou autres substances comme la 1,3-diméthylamylamine (DMAA) ou l'éphédrine. (139) (140) (141) (142)

Les SAA, majoritairement retrouvés dans les sports de force, peuvent également provoquer des atteintes cardiovasculaires en augmentant les concentrations totales de cholestérol et plus particulièrement celles en LDL-cholestérol par augmentation de l'expression du gène codant pour l'enzyme responsable de la synthèse de cholestérol, la 3-hydroxy-3-méthyl-glutaryl-coenzyme A (HMG-CoA) ce qui semble favoriser le développement de coronaropathies et d'évènements thromboemboliques. (143) (144)

❖ Effets indésirables hépatiques :

De rares cas d'hépatites ont été signalés suite à la prise de produits visant un anabolisme musculaire, et contenaient des produits comme de la créatine, des protéines de lactosérum, des AA ainsi que de la L-carnitine. La cause la plus probable étant une toxicité due à un surdosage. (145)

Les substances interdites comme le DMAA et les SAA sont également susceptibles de provoquer des atteintes hépatiques telles que des ictères, une augmentation des transaminases (ALAT et ASAT), voire des carcinomes hépatocellulaires. (146) (147)

❖ Effets indésirables néphrologiques :

Les possibles effets indésirables au niveau du rein sont les premiers avancés lorsqu'il s'agit de la consommation de protéines de lactosérum ou de créatine : en pratique et comme discuté auparavant, il est assez rare de voir apparaître de tels dommages hormis lors d'un apport excessif en protéines et sur une longue période, et lorsqu'une maladie rénale non diagnostiquée est préexistante chez certains pratiquants. Ainsi l'ANSES déclare dans son rapport de novembre 2016 concernant les CA destinés aux sportifs que « *l'état actuel des connaissances ne permet pas d'affirmer que la créatine exerce un effet délétère sur le rein à long terme* ». (100)

❖ Effets indésirables neurologiques :

Les substances stimulantes de types amphétaminiques peuvent être à l'origine d'une certaine neurotoxicité et entraîner des symptômes tels qu'une agitation, des hallucinations, voire une altération de la fonction cognitive sans oublier le phénomène de dépendance en résultant. (100) (148)

La consommation de stéroïdes androgènes anabolisants va également perturber les performances cognitives : en effet des études ont montré que la mémoire visuelle était significativement réduite chez les utilisateurs de stéroïdes comparée aux non-utilisateurs, ainsi que des changements neuro-comportementaux tels que l'agressivité et l'irritabilité ; ceci étant corrélé avec une prise de fortes doses et sur une longue durée. (149) (150)

❖ Autres effets indésirables :

Certains effets indésirables dermatologiques comme de l'urticaire ou des éruptions cutanées parfois sévères ont été décrites suite à la consommation de substances interdites retrouvées dans les CA : la sibutramine et le 2,4-dinitrophénol (2,4-DNP).

La sibutramine était à l'origine un médicament indiqué dans la prise en charge de l'obésité et du surpoids mais a été retiré par la suite car son profil d'effets indésirables jugé trop important, de même pour le 2,4-DNP utilisé auparavant comme teinture ou conservateur et à l'origine de divers effets indésirables. (151) (152)

Les SAA ont un profil d'effets indésirables majeur où l'on retrouve, en plus des effets délétères décrits ci-dessus, d'autres symptômes comme l'apparition d'une acné diffuse localisée au niveau du tronc, et une affection des organes de reproduction chez l'homme comme une gynécomastie, un hypogonadisme ou encore une infertilité. Une augmentation de la concentration sanguine en œstrogènes est également observée suite à la prise de SAA et semble augmenter le risque d'hypertrophie de la prostate ou de cancer de la prostate. (153) (154)

Chez la femme l'utilisation des SAA est également à risque : ils entraînent une masculinisation, un hirsutisme, des troubles de la libido, des aménorrhées et une possible infertilité. (155)

3 EN OFFICINE :

3.1 Que faire face à une demande spontanée

3.1.1 Estimer le besoin de la personne

3.1.1.1 L'IMC

L'IMC ou indice de masse corporelle est un outil établi par l'OMS et est fréquemment utilisé en pratique afin d'estimer la corpulence de la personne à partir de deux indicateurs que sont le poids et la taille. Le résultat obtenu sera ensuite comparée aux valeurs (et donc aux corpulences) prédéfinies par l'OMS. (156)

$$IMC = \frac{P}{T^2}$$

P = Poids exprimé en kg
T = Taille exprimée en m

Classification	IMC (kg/m ²)
Maigreur	< 18,5
Normal	18,5 – 24,9
Surpoids	25,0 – 29,9
Obésité modérée	30,0 – 34,9
Obésité sévère	35,0 – 39,9
Obésité massive	≥ 40

Figure 25-Classification de l'IMC (157)

Toutefois, cet IMC n'est pas garant de la réalité et présente des limites :

- l'âge : l'IMC ne s'utilise que chez les personnes âgées de 18 à 70 ans, il n'est pas applicable chez les enfants, les femmes enceintes, et les personnes âgées.
- l'IMC utilisé comme seul outil a une valeur prédictive faible : en effet il a été défini selon des études statistiques et non sur un individu, ainsi les situations que l'on rencontre en officine vont au-delà de la simple affiliation de l'individu aux cases « maigreur », « normal », « surpoids », et « obésité » et varient selon les individus et les pathologies, traitements, et hygiène de vie qui les entourent.

- l'IMC ne prend pas en compte les différents paramètres comme la répartition de la masse grasse, de la masse maigre, de la masse osseuse, ou bien même de la quantité d'eau : ces compartiments de l'organisme varient selon les individus et plus particulièrement selon l'âge, le sexe, la masse musculaire, la taille etc. Ainsi une personne avec une masse musculaire importante se verra classée dans une des catégories « obèses » à tort. (157) (158)

Il y a donc différentes variables dont l'IMC ne tient pas compte, ce qui peut présenter des limites quant à son utilisation mais cela peut servir de point de départ pour la réalisation du conseil à destination des sportifs en officine.

D'autres critères doivent être pris en compte pour une meilleure prise en charge globale des attentes du sportif ; ainsi est née la théorie des morphotypes, très présente dans les sports de force et de culturisme.

3.1.1.2 Les morphotypes

Ces morphotypes, édifiés par un psychologue américain du nom de William Sheldon dans les années 1940, permettraient d'estimer les aptitudes de la personne à prendre du muscle ou du gras, la classification la plus répandue présente ainsi trois morphotypes : l'ectomorphe, l'endomorphe, et le mésomorphe. (159) (160)

- Le type ectomorphe désigne une personne dont la caractéristique principale est la minceur/maigreur, qui va avoir du mal à prendre de la masse musculaire et plus généralement des difficultés à prendre du poids de façon général malgré un apport alimentaire qu'ils jugent importants.

Au niveau anatomique, ce dernier présente un squelette fin principalement au niveau des chevilles et poignets, un bassin et des épaules étroits avec les membres plutôt longilignes.

Compte tenu d'une dépense énergétique supérieure à leurs apports et des apports faibles en macronutriments, les personnes ectomorphes ont beaucoup de difficultés pour favoriser l'anabolisme musculaire : ainsi il leur sera plutôt conseillé de prendre par exemple un « gainer » parmi les protéines de lactosérum disponibles afin d'augmenter leur apport calorique.

- L'endomorphe est généralement désigné comme l'opposé du type ectomorphe : en effet leur caractéristique majeure est leur facilité à prendre du poids et principalement de la masse grasse, se traduisant par un aspect physique général plutôt rond.

Ils sont dotés d'un métabolisme qualifié de « lent », ainsi la dépense énergétique globale reste assez faible tandis que les apports énergétiques sont eux importants : il leur sera conseillé, dans l'optique de favoriser une prise de masse musculaire, les protéines de lactosérum isolat afin d'augmenter la part protéique et donc de créer un environnement propice à la construction musculaire.

- Le mésomorphe est dans les sports de force le morphotype idéalisé par de nombreux pratiquants puisque ces derniers présentent une morphologie assez forte alliant un large squelette notamment au niveau des chevilles et poignets à une musculature déjà existante et dont la masse grasse est assez faible.

La prise de masse musculaire est relativement plus rapide que pour les endomorphes, il leur sera conseillé la whey parmi les protéines de lactosérum pour les aider à y parvenir.

Cette classification en morphotypes permet ainsi de mieux cibler la catégorie auquel appartient le sportif et donc de personnaliser notre conseil, qu'il soit basé sur les recommandations hygiéno-diététiques ou bien sur le choix d'un CA.

Attention toutefois à ne pas généraliser ce conseil : en effet il s'agit là seulement d'une classification basée sur de simples observations et donc non fondée scientifiquement, il est donc parfaitement possible d'avoir des caractéristiques appartenant à plusieurs morphotypes et cela est même rencontré très souvent en pratique.

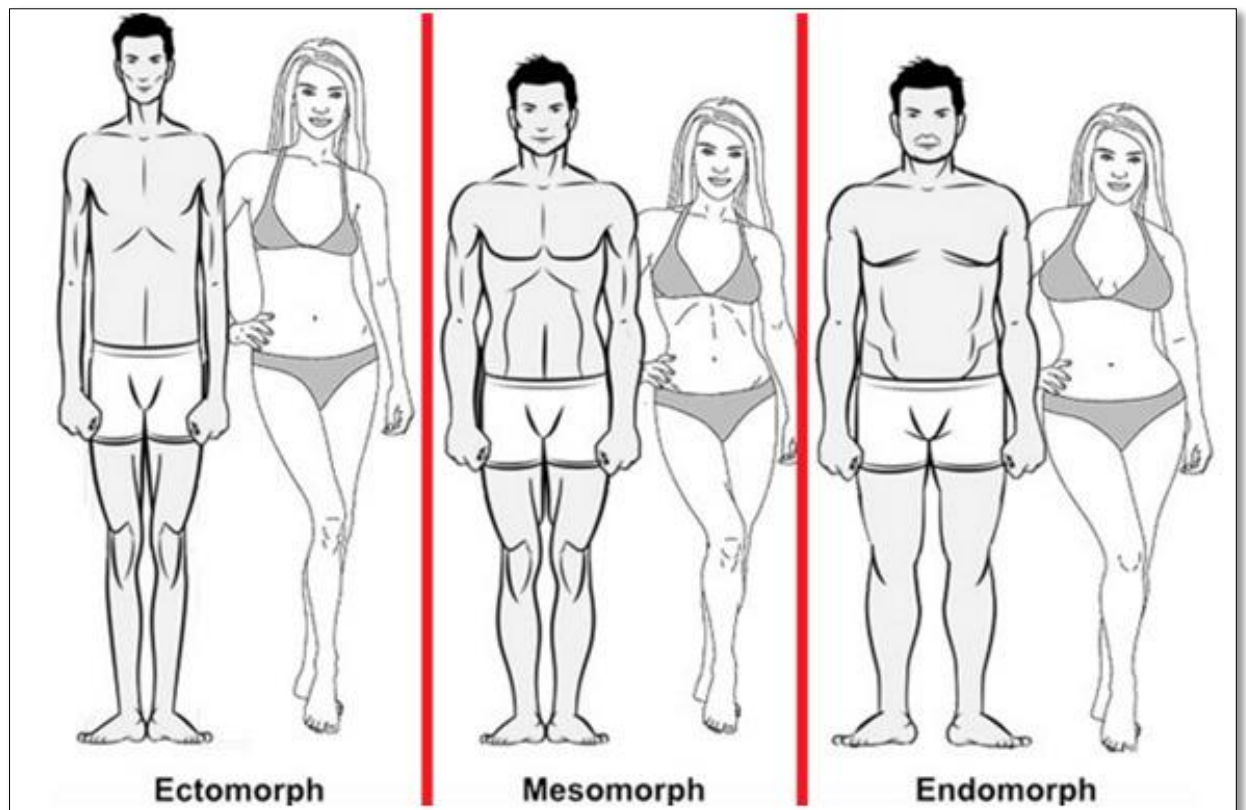


Figure 26-Les différents morphotypes (160)

	Ectomorphe	Mésomorphe	Endomorphe
<i>Caractéristiques physiques :</i>	-minceur -squelette fin -membres longs	-musculature déjà présente, peu de gras -squelette large -buste en « V »	-corps « gras » -visage rond -ossature fine avec membres courts
<i>Métabolisme :</i>	-métabolisme rapide : brûle vite les calories -difficulté à prendre du poids -prise de masse musculaire difficile mais « sèche » facile	-métabolisme intermédiaire avec une bonne absorption des nutriments -prise de masse musculaire rapide et facile et « sèche » également	-métabolisme lent : brûle doucement les calories -prend facilement du gras et du « ventre » -prise de masse musculaire facile mais « sèche » plus difficile
<i>Entraînement :</i>	-entraînements « full-body » -Courte durée (+/- 45min) mais intense -peu de cardio	-entraînements alternant charges légères puis charges lourdes -durée d'entraînement de +/-1h -cardio possible	-entraînements avec séries longues et gros volumes -durée d'entraînement 1h30 environ -cardio à mettre en place
<i>Nutrition / CA :</i>	-augmenter l'apport calorique -multiplier les repas (4-5 repas par jour) -Gainer si besoin	-augmenter l'apport calorique en qualité -multiplier les repas -bien choisir les sources de glucides -Whey si besoin	- augmenter la dépense calorique et maintenir ou réduire l'apport -repas hypocaloriques fractionnés et nombreux -qualité des sources en macronutriment -Isolat whey si besoin
<i>Répartition énergétique :</i>	-55% AET issu des Glucides -20% AET issu des Lipides -25% AET issu des Protéines	-55% AET issu des Glucides -15% AET issu des Lipides -30% AET issu des Protéines	-35% AET issu des Glucides -20% AET issu des Lipides -45% AET issu des Protéines (<i>sur une courte durée</i>)

3.1.1.3 Le calcul calorique

Les principales difficultés rencontrées chez le sportif (et plus généralement dans la population) concernant la gestion du poids et l'alimentation qui en découle : afin de leur apporter des éléments de réponse, il est nécessaire de comprendre la machinerie de l'organisme et notamment les besoins énergétiques.

Les besoins énergétiques de notre organisme vont correspondre à l'apport énergétique permettant d'équilibrer la dépense énergétique : cet apport énergétique sous forme de calories provient de l'alimentation et sont plus précisément issues de l'oxydation des macronutriments, ainsi 1g de glucides et de protéines valent 4kcal alors qu'1g de lipides apporte 9kcal.

Les besoins énergétiques sont conditionnés par différents composants tels que les dépenses associées au métabolisme de base, à la thermorégulation, au travail digestif et enfin au travail musculaire : l'ANSES a, pour rappel, émis des besoins énergétiques moyens pour l'homme et la femme, respectivement de l'ordre de 2400-2700kcal et 1900-2200kcal. (31)

La dépense énergétique journalière (DEJ) ou dépense énergétique totale (DET) sera ainsi la somme de la dépense énergétique de repos (DER), correspondant à la consommation de calories par l'organisme au repos pour maintenir les fonctions vitales, additionnée à la dépense énergétique physique (DEP) soit : $DET = DER + DEP$.

La DEP sera fonction de l'activité physique effectuée, le type d'entraînement (résistance, vitesse ou endurance), la durée, la fréquence et la méthode d'entraînement sans oublier l'environnement qui entoure cette pratique (saison, humidité, température...) et selon des facteurs liés à l'individu à savoir le niveau de pratique (amateur ou professionnel), l'âge, le sexe, la composition corporelle, l'état de santé général ainsi que le statut nutritionnel (prise de masse, maintenance, « sèche »). (25)

Le calcul de la DET est la première étape afin de savoir ses besoins caloriques moyens, cette DET est propre à chacun de par la grande variabilité de la dépense calorique des individus, il est toutefois possible de l'estimer selon différentes méthodes :

- la première méthode est fondée sur l'application de calculs, appelés équations de Harris et Benedict, pour déterminer le métabolisme basal (ou DER) auquel s'applique un coefficient d'activité journalier en fonction des activités du quotidien et ainsi déterminer la DET, comme indiqué sur le tableau ci-dessous. (161)

Tableau 18-Calcul théorique de la Dépense Energétique Totale (36)

1 - Déterminer son métabolisme de base			
MB Homme	$= 66,5 + (13,75 \times \text{poids (en kg)}) + (5 \times \text{taille (en cm)}) - (6,77 \times \text{âge})$		
MB Femme	$= 65,1 + (9,56 \times \text{poids (en kg)}) + (1,85 \times \text{taille (en cm)}) - (4,67 \times \text{âge})$		

2 - Déterminer son coefficient d'activité journalière			
Activités	Coefficient	Heures/jour	Total = coef. X heure
Sommeil et sieste	1		
Toilette et habillage	2		
TV et repos	1,35		
Activités assis	1,6		
Cuisine	1,8		
Repas	1,7		
Activités ménagères	2,6		
Achats	2,5		
Transports	1,5		
Activité professionnelles	2		
Marche	3		
Sport	5		
Total		24 h	

Coefficient total / 24 = coefficient d'activité

Quelques exemples de coefficients d'activités (moyennes calculées selon l'activité journalière) :

- 1 = journée passée au repos allongé ;
- 1,2 = travail sédentaire assis, pas de sport, moins de 30 min de marche ;
- 1,4 = travail sédentaire avec 30 min de marche ;
- 1,6 = travail sédentaire et 1 h à 1 h 15 de sport ;
- 1,7 = travail sédentaire et 1 h 30 à 2 h de sport ;
- 1,8 = travail physique avec beaucoup de déplacements et 1 h 30 à 2 h de sport ;
- 2 = travail physique et 3 à 4 h de sport.

3 - Déterminer sa DET		
DET = MB x coefficient d'activité		
MB	Coefficient d'activité	Total en kcal
Attention : ajuster le montant obtenu de plus 10 % si vous avez un métabolisme plus rapide qui brûle beaucoup d'énergie et de moins 10 % si vous avez un métabolisme plus lent et que vous stockez facilement de la graisse et du poids.		

- la deuxième méthode consiste à calculer les calories ingérées lors des repas et de maintenir ce même apport calorique sur une certaine durée (une semaine par exemple) et d'observer la variation de poids : si le poids reste stable l'organisme est considéré en « maintien calorique » donc les apports sont égaux aux dépenses ; si le poids est en baisse cela signifie que l'organisme est en déficit calorique donc que les dépenses sont supérieures aux apports ; enfin si le poids augmente cela signifie cette fois que l'organisme est en excédent calorique donc que les apports sont supérieurs aux dépenses.

En pratique cela consiste à peser les aliments qui seront consommés et de calculer l'apport calorique de chaque macronutriment qui constitue le repas.

1 g de protéines = 4 kcal
1 g de glucides = 4 kcal
1 g de lipides = 9 kcal
1 g d'alcool = 7 kcal

Figure 27-Apport calorique des macronutriments (55)

De ces simples observations nous pouvons aisément comprendre sur le plan quantitatif que toute calorie absorbée aura un impact sur le poids corporel et ses variations ; sur le plan qualitatif le choix porté sur les aliments et leur qualité nutritionnelle est également important : tout est question d'équilibre.

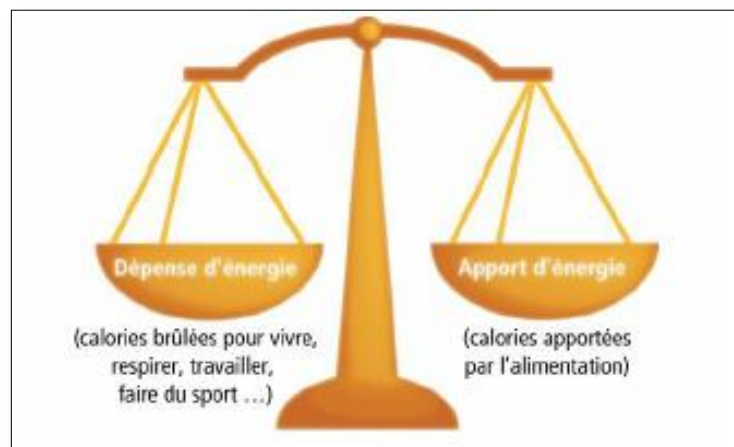


Figure 28-Représentation de l'équilibre énergétique de l'organisme (55)

En officine, le conseil délivré aux sportifs ou aux personnes désireuses de perdre du poids sera donc fonction des différents paramètres cités auparavant : le principal conseil sera d'augmenter les dépenses caloriques en pratiquant une activité physique régulière et de limiter les apports excédentaires caloriques, en somme respecter le slogan « manger moins et bouger plus » délivré par les instances publiques pour prévenir le risque d'obésité dans la population générale.

Les régimes sont également à déconseiller aux comptoirs, en effet l'ANSES a publié un rapport sur l'évaluation des risques liés aux pratiques alimentaires d'amaigrissement dans lequel il est montré que de nombreux français multiplient les régimes, sans pour autant être en surpoids. (162)

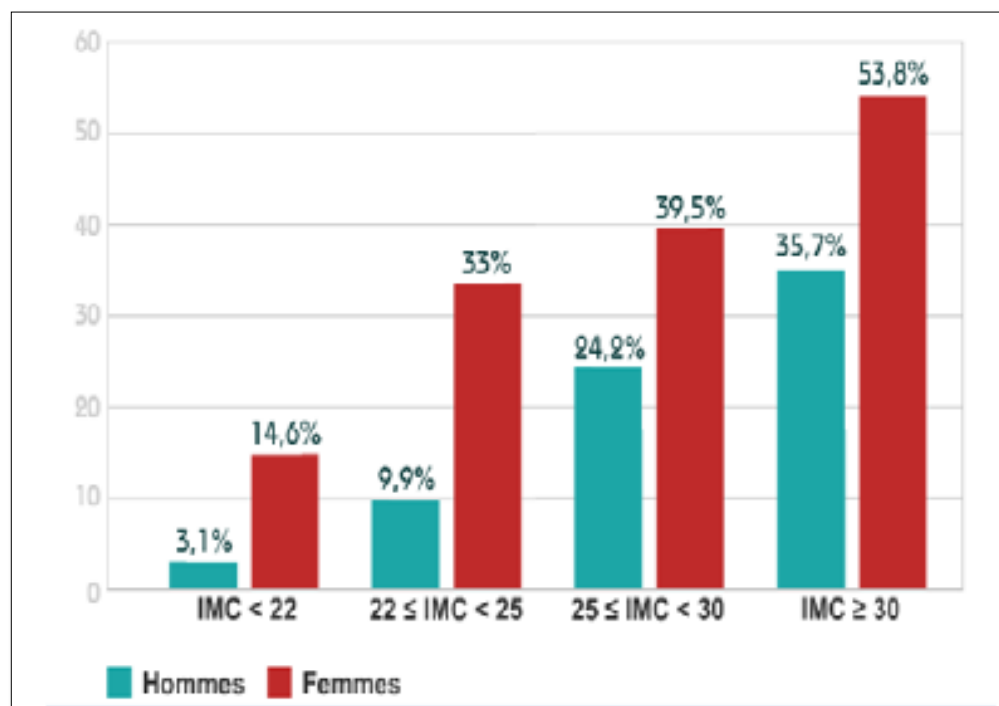


Figure 29-Proportion des sujets pratiquant ou ayant pratiqué un régime dans l'année (157)

La pratique de ces régimes amaigrissants dans l'optique de la perte de poids est souvent réalisée pour des raisons essentiellement esthétiques, et non pas selon une indication médicale : ces pratiques peuvent être à risque puisque peuvent induire des déséquilibres nutritionnels et exposer l'organisme à divers risques néfastes pour la santé :

- perte de masse musculaire et osseuse
- risques aux niveaux rénal, osseux et cardiaque en raison d'un apport en protéines très élevé
- dépression et perte de l'estime de soi
- reprise du poids perdu, voire surpoids : c'est « l'effet yo-yo ». (163)

Cette démarche doit donc être réalisée et justifiée pour des raisons de santé, et prise en charge par des spécialistes.

L'association française des diététiciens nutritionnistes (AFDN) pointe également ces pratiques amaigrissantes comme les régimes ou la succession des périodes de « sèche » pouvant provoquer en plus des carences nutritionnelles une augmentation du risque de blessure chez les sportifs en raison d'une mauvaise hydratation (parfois volontaire) associée à ces pratiques. (100)

3.1.1.4 Besoin d'un complément alimentaire ?

Après avoir estimé et analysé les caractéristiques du sujet sportif, il nous est indispensable d'évaluer le besoin d'une supplémentation en CA et plus particulièrement chez le sportif amateur.

En effet, nous avons identifié auparavant que les compléments alimentaires peuvent être utiles dans l'obtention d'un gain de muscle ou bien pour améliorer la récupération ; cependant tous n'auront pas ce besoin de CA et il est judicieux d'en évaluer la nécessité grâce notamment à des questionnaires disponibles, comme illustré par la suite :

Tableau 19-Estimer le besoin de compléments alimentaire (9)

Caractéristiques	Votre réponse	
Buvez-vous beaucoup de café ou de thé ? Mangez-vous régulièrement épicé ? <i>Si tel est le cas, les parois du tube digestif peuvent être irritées ce qui gênerait l'assimilation des nutriments essentiels.</i>	☐ oui	☐ non
Souffrez-vous de digestion difficile (nausées, ballonnements...) ? <i>L'absorption des micronutriments est optimale lorsque le tube digestif accomplit parfaitement ses missions. Dans le cas inverse, l'absorption des actifs peut être compromise.</i>	☐ oui	☐ non
Présentez-vous des problèmes de constipation ou de diarrhée ? <i>L'absorption des nutriments est considérablement perturbée. Le maillon digestif est en souffrance, reportez-vous au paragraphe portant sur les probiotiques.</i>	☐ oui	☐ non
Consommez-vous régulièrement de l'alcool ? Par exemple, vous aimez accompagner vos repas d'une bonne bouteille de vin, vous appréciez les apéritifs entre amis ou la bière pour fêter vos victoires (ou accessoirement suivre une rencontre sportive à la télévision) ? <i>La consommation régulière d'alcool nécessite d'augmenter les apports en zinc, en magnésium, en calcium, en vitamine B1, B6, A et C.</i>	☐ oui	☐ non
Vous êtes fumeurs ? <i>Inutile de détailler les méfaits du tabac sur un organisme sportif car cela nécessiterait un deuxième ouvrage. Sachez simplement que les cigarettes augmentent les besoins en vitamine C de 30%.</i>	☐ oui	☐ non
Si vous êtes une femme, utilisez-vous une méthode de contraception hormonale ? <i>Les contraceptifs hormonaux diminuent l'absorption de la vitamine B9 aussi appelée acide folique et augmentent les besoins en vitamine C, en vitamine B2, B6 et en zinc.</i>	☐ oui	☐ non
Vous avez tendance à succomber au dernier régime à la mode pour maigrir ou prendre de la masse (type régime de privation de certains aliments) ? <i>Certains régimes suppriment des pans entiers de l'alimentation et ne se focalisent que sur l'apport de protéines (jambon, œufs, viande blanche). Il va de soi que le sportif se prive ainsi de très nombreux nutriments essentiels. Les déséquilibres alimentaires peuvent être sérieux. Autre exemple, dans le cas d'une personne végétarienne, les apports en fer et en vitamine B12 sont menacés. Dans tous ces cas, un rééquilibrage est indispensable, éventuellement associé à une complémentation temporaire. L'avis d'un médecin est essentiel.</i>	☐ oui	☐ non

Caractéristiques	Votre réponse	
Vous prêtez une attention particulière à la conservation des aliments et à leur mode de cuisson (type de cuisson, durée de cuisson) ? <i>La congélation détruit la vitamine E, le micro-onde dénature les vitamines du groupe B, la vitamine C et les acides gras essentiels. La durée et le type de cuisson modifient particulièrement la biodisponibilité^[voir lexique] des nutriments. Référez-vous au paragraphe « Préparation des aliments : Comment les cuisiner ? » pour plus d'informations à ce sujet.</i>	☐ oui	☐ non
Vous mangez régulièrement au restaurant (plats en sauce), dans les fast-foods ou des sandwichs ? <i>Ne nous y trompons pas, il existe des sandwichs d'excellente valeur nutritionnelle. En revanche, la consommation régulière de sandwichs américains, de burgers, de plats en sauce... apporte acides gras saturés et glucides raffinés en fortes quantités au détriment d'autres molécules plus intéressantes.</i>	☐ oui	☐ non
Les entraînements sont-ils nombreux, réguliers et intensifs ? <i>Plus les entraînements sont conséquents, plus la dépense énergétique est grande. Les sportifs qui s'entraînent plus de 10h par semaine sont qualifiés de sportifs intensifs et nécessitent une prise en charge encore plus soignée.</i>	☐ oui	☐ non

3.1.2 Orienter sur le bon CA

Si la prise de CA est intéressante pour les sportifs pratiquant des sports de force, la diversité des offres disponibles peut rendre difficile la justification d'un complément alimentaire donné par rapport à un autre.

Ainsi, si la personne recherche un moyen d'obtenir un gain de muscle nous pourrions l'orienter en premier lieu sur les CA sous forme de poudres de protéines, à savoir la whey et la caséine principalement sans oublier leurs isolats respectifs : ceci selon le morphotype estimé de la personne et comme illustré auparavant.

A cela s'ajoute également les BCAA, souvent déjà présents dans les poudres de protéines ou bien pouvant être pris séparément et la créatine, ces compléments alimentaires étant les plus utilisés en pratique et permettant en théorie une meilleure récupération tout en optimisant l'anabolisme musculaire.

Les CA appartenant aux lipides comme les oméga-3 sont intéressants et parfois utiles si les habitudes alimentaires ne respectent pas les apports conseillés, d'autres comme le CLA ou la L-carnitine intervenant dans le métabolisme des lipides et communément présentés comme des « brûleurs de graisse », au même titre que la caféine, peuvent être utilisés même si les résultats restent mineurs et variables selon les individus.

Les vitamines et minéraux et CA à base d'extraits de plantes sont également disponibles et destinés à la récupération des sportifs, ils sont toutefois peu utilisés en pratique par les sportifs de force.

La multitude de compléments alimentaires offrent de nombreuses alternatives et tous vantent leurs bienfaits et leurs résultats sur l'organisme, il convient cependant de s'interroger sur la pertinence de certains de ces CA compte tenu du faible rendement qu'ils offrent, d'aucun argumentaire ou résultat scientifique prouvé, et du risque potentiel sur l'organisme avéré.

3.1.3 Conseils aux sportifs

Le pharmacien d'officine, parmi ses prérogatives se distingue la nécessité de conseiller les patients lors de la délivrance d'un médicament ; par extension il en est de même lors de la délivrance des CA puisque ceux-ci, même si n'étant pas des médicaments, ne sont pas non plus anodins.

Ainsi, nous pouvons émettre quelques conseils à destination des sportifs pratiquant la musculation mais également à destination des sportifs en général.

Ces conseils ne sont pas exhaustifs, cependant ils constituent les règles de base à respecter afin d'optimiser les performances, d'améliorer la récupération mais également la diététique et la micronutrition du sportif. (6) (38)

- Prendre ses repas à heures régulières, cela permettra un apport énergétique régulier pour l'organisme afin que ce dernier puisse s'adapter et gérer la digestion des aliments.
- Ne pas sauter le petit déjeuner, l'importance d'un apport en glucides et en protéines lors du petit déjeuner va conditionner le bon déroulement de la journée et ainsi

permettre d'éviter tout risque d'hypoglycémie, de fringale ou autre. L'importance est majorée d'autant plus si une activité sportive est pratiquée dans la matinée.

- Par conséquent, cela nous amène à la règle suivante : ne pas s'entraîner à jeun !
- Avoir une alimentation variée et équilibrée couvrant les besoins en micronutriments et macronutriments, en adaptant les apports selon le sport pratiqué, selon sa durée et son intensité.
- Eviter la déshydratation : cela passera par une hydratation régulière tout au long de la journée, sans oublier autour de l'entraînement : cela permettra de prévenir les conséquences d'une déshydratation qui peuvent amener à une réduction des performances et une augmentation des risques d'accidents musculaire.
- Ne pas supprimer les glucides : lors d'une activité physique importante, les stocks de glucides et de glycogène sont au plus bas, il faut donc renouveler ce stock régulièrement, notamment en apportant à chaque repas des glucides complexes.
- Augmenter raisonnablement les protéines, cela permettra d'optimiser l'anabolisme musculaire en augmentant la synthèse protéique puisque lors de l'effort il y aura eu des microtraumatismes au niveau des muscles squelettiques, traumatismes qui seront « réparés » par cet apport en protéines.
- Ne pas oublier la récupération : ainsi après un effort l'organisme a besoin de refaire ses réserves, sans oublier l'importance et l'impact d'un sommeil régulier sur les performances futures.
- L'alcool et l'activité physique sont antagonistes l'un de l'autre, en effet l'apport calorique apporté par ce dernier ne permet pas à l'organisme de les utiliser ; de plus l'alcool réduit les capacités physiques et augmente la quantité de toxines que l'organisme doit éliminer. Enfin l'alcool accélère le mécanisme de déshydratation en modifiant les capacités de régulation de la transpiration (*alcool considéré comme dopant dans certaines fédérations*).
- Utiliser à bon escient les CA et seulement si besoin : les CA chez le sportif peuvent apporter une aide parfois non négligeable, sans pour autant rentrer dans la catégorie des produits dopants. Toutefois certains de ces CA apportent une aide minime et présentent parfois aucun intérêt à les utiliser.

L'amélioration des performances et du physique nécessite donc une alimentation équilibrée et adéquate, répondant aux attentes du sportif et respectant ses besoins.

3.2 Promouvoir une bonne utilisation des compléments alimentaires

Une complémentation alimentaire peut s'avérer intéressante et parfois nécessaire, mais elle doit être encadrée par un professionnel de santé connaissant de près l'athlète et son mode de vie.

Lors d'une utilisation de compléments alimentaires, le sérieux du laboratoire et la qualité des produits doivent être l'une des principales préoccupations du consommateur, mais également celles du pharmacien d'officine puisque la législation en matière de sécurité alimentaire est parfois plus souple dans certains pays (USA, Italie), et il n'est pas rare de trouver des substances dangereuses (métaux lourds, substances toxiques) ou interdites (anabolisants et autres) dans les produits achetés à l'étranger ou sur internet.

Il est donc fortement conseillé de ne recourir qu'à des produits de marques réputées et certifiées, lesquelles procèdent à des contrôles stricts en matière de qualité. Ainsi le sportif, quel que soit son niveau, peut se tourner vers un spécialiste de la nutrition sportive afin de le conseiller dans son choix de CA afin d'éviter tout risque potentiel. (164)

L'intérêt d'une complémentation nutritionnelle doit systématiquement être évalué à l'aide d'un bilan réalisé par un professionnel, qui s'appuiera également le cas échéant sur la biologie médicale afin de faire le bon choix dans le complément qu'ils conseillent.

Ainsi certaines règles de base se doivent d'être rappelées concernant la consommation des CA visant le développement de la masse musculaire ou la diminution de la masse grasse chez le sportif :

- la consommation de ces produits est déconseillée chez les personnes présentant des facteurs de risque CV, une altération de la fonction rénale ou hépatique, ou des troubles neuropsychiatriques.

- ces compléments alimentaires sont déconseillés chez les enfants et adolescents, ainsi que chez les femmes enceintes ou allaitantes ; de même qu'ils sont déconseillés de les associer avec des médicaments.
- les CA à privilégier sont de préférence ceux attestant de l'absence de produits dopants et dangereux, et donc de la qualité de ces derniers (**norme AFNOR NF V94-001**).
- les objectifs de la consommation de CA devraient être discutés avec un professionnel de santé tel que le médecin ou le pharmacien et, à minima, les en informer de leur consommation.

L'ANSES considère donc comme nécessaire, au vu des risques possibles de la consommation de ces CA sur la santé des utilisateurs, que « *les professionnels de santé bénéficient d'une formation initiale et continue en matière de nutrition, incluant la nutrition du sportif [...] et d'une approche pluridisciplinaire dans ce domaine qui devra impliquer tant les cadres sportifs que les professionnels de santé* ».

Différents organismes tels que la FFHMFAC, la SFMES, ou encore la SFNS se sont prononcés sur la consommation de ces CA et tous sont favorables à sécuriser l'utilisation de ces CA afin de protéger le consommateur de tout risque potentiel, avec toutefois une meilleure réglementation encadrant ces produits.

Elles mettent également en garde les sportifs de l'achat de tels produits sur internet, et sont actives dans la prévention et la lutte contre le dopage présent dans les sports de force majoritairement. (100)

3.3 Prévention de la santé

Selon la loi de modernisation de notre système de santé, le pharmacien d'officine est reconnu comme un acteur majeur dans le parcours de soins de la personne entrant dans l'officine : cela se traduit par différentes actions comme les conseils associés à la délivrance des médicaments ou des compléments alimentaires, les règles hygiéno-diététiques, l'automédication, les règles de bon usage du médicament, les entretiens pharmaceutiques ou plus récemment les bilans de médication partagés, tout ceci dans un seul et unique but : promouvoir la (bonne) santé et donner différents moyens afin de l'améliorer. (165)

Par conséquent, toute action jugée par le pharmacien comme à risque pour la personne sera à éviter, à déconseiller et à interdire selon les moyens qui lui sont donnés, cette éducation pour la santé est une obligation déontologique pour le pharmacien comme précisée dans le Code de la Santé Publique : le pharmacien « *doit contribuer à l'information et à l'éducation du public en matière sanitaire et sociale* ». (166)

Compte tenu de la possible vente des CA en officine le pharmacien se doit de connaître les subtilités de ces différents produits. En effet, qu'il s'agisse de réaliser la commande aux laboratoires ou bien de conseiller un des produits à un patient/client ; le pharmacien est amené à se poser des questions sur la qualité des produits qu'il détient et est amené à savoir répondre aux questions que les clients peuvent lui poser ; ainsi toute l'expertise du pharmacien d'officine est requise afin de limiter les risques pour les consommateurs.

Outre la promotion de la bonne utilisation des CA, cette promotion de la santé est plus large que la prévention et inclut différents conseils et actions que peut mettre à profit le pharmacien d'officine : elle n'est pas orientée vers un risque spécifique mais s'appuie plutôt sur la participation active du sujet en conférant plus de connaissances et ainsi un plus grand pouvoir sur les décisions affectant sa santé, son bien-être et sa qualité de vie.

La promotion de la santé constitue une approche transversale et globale, incluant différents axes de travail possible comme par exemple la lutte contre les addictions, la promotion de l'activité physique et sportive, l'éducation à la santé, ou encore la lutte contre le dopage.

Concernant ce dernier volet, le CESPARM, en collaboration avec le Ministère de la Jeunesse, des Sports, et de la vie associative ; la MILDECA et l'AMPD du Languedoc-Roussillon, a élaboré des outils téléchargeables et accessibles aux pharmaciens d'officines afin de lutter contre le dopage en veillant tout particulièrement à la composition et à la délivrance des compléments alimentaires destinés aux sportifs mais également, comme le rappelle l'ANSES « *de déclarer auprès de son dispositif de nutrivigilance les effets indésirables susceptibles d'être liés à la consommation de compléments alimentaires destinés aux sportifs dont ils auraient connaissance* ». (167)

CONCLUSION

La musculation comme pratique sportive et plus généralement les sports de force (haltérophilie et culturisme) est aujourd'hui pratiquée par de nombreux sportifs - professionnels ou amateurs- et suscite un grand intérêt particulièrement chez les plus jeunes. La pratique quotidienne d'une activité physique et sportive (sports de force ou autres) est bénéfique à plus d'un titre du point de vue de la santé et du dépassement de soi, et est recommandée par le Ministère de la Santé et relayée par les professionnels de santé.

La pratique de la musculation est basée sur l'application du principe de surcharge progressive, accompagnée de plusieurs régimes de contraction, ceci servant de base à la plupart des méthodes d'entraînement. Les exercices de musculation, poly-articulaires ou d'isolation, vont faire intervenir majoritairement la filière anaérobie alactique et lactique : ils demandent ainsi un effort soutenu et intense sur une durée très brève.

La nutrition occupe une grande place dans la préparation du sportif : en effet toute modification des apports alimentaires et de sa qualité va influencer le métabolisme du sportif à l'effort mais également au repos. De ce fait une stratégie nutritionnelle doit être mise en place par le sportif en fonction de l'activité physique (durée, intensité), mais également en fonction des objectifs de poids (prise de masse, « sèche », ou maintenance) et de gain en masse musculaire.

Par voie de comparaison des différentes filières biochimiques permettant la production de l'énergie nécessaire à l'exercice musculaire, mais également en fonction des apports en macronutriments pour optimiser les adaptations aux exercices de force, ce travail a eu pour objectif d'établir et de mettre en lumière différents conseils nutritionnels à destination des sportifs en musculation.

Toutefois, de nombreux pratiquants consomment des compléments alimentaires, plus particulièrement ceux visant une prise de masse musculaire et/ou une réduction de la masse grasse. Ces compléments alimentaires dont le but principal est de compléter un repas et non le supplanter, sont très nombreux et offrent aujourd'hui une solution aux sportifs dans leur perpétuelle quête de performance : la question de l'intérêt de la prise de compléments alimentaires est justifiée et peut se poser.

Une supplémentation est parfois nécessaire et ce pour plusieurs raisons : par simplicité, par manque de temps ou encore selon la pratique sportive effectuée ; il peut donc être intéressant et justifiée dans certains cas d'y recourir comme nous l'avons souligné au cours de cette étude.

Cette complémentation nutritionnelle n'est pas en opposition avec les valeurs que prodiguent le sport comme l'éthique et le dépassement de soi ; il peut cependant arriver que ces compléments alimentaires soient adultérés par des substances dopantes et/ou dangereuses puisque disponibles à la vente facilement, en officine comme sur internet.

Il sera donc du devoir des professionnels de santé de prévenir le sportif et de l'informer du risque de dopage au travers des compléments alimentaires ou parfois même suite à la prise de médicaments, certains étant disponibles sans ordonnance. La question du dopage intentionnel n'a pas été traitée dans son ensemble puisque ce travail porte majoritairement sur le risque de dopage dans les compléments alimentaires mais mériterait qu'une autre étude y soit consacrée.

Ce travail a mis en évidence que ces dérives, intentionnelles ou non, sont majoritaires dans les sports de force et sont à risque pour la santé du sujet sportif, à court terme comme à long terme : elles sont le fruit d'une mauvaise utilisation des compléments alimentaires mais surtout d'un choix de compléments alimentaires dont la qualité, la traçabilité et le sérieux du laboratoire sont parfois à mettre en cause.

Il convient donc au pharmacien d'officine et/ou au médecin d'évaluer l'intérêt d'une complémentation nutritionnelle chez le sportif, s'appuyant le cas échéant sur la biologie médicale.

Il sera avant tout nécessaire d'orienter le sportif vers des aliments à hautes densités nutritionnelles et de procéder à un « rééquilibrage alimentaire » en raison souvent des pratiques alimentaires dans le but de perdre du poids mais étant plus à risque pour la santé et conduisant même à des contre-performances. Ces pratiques seront donc à éviter et il sera du rôle du pharmacien d'officine de délivrer les bons conseils nutritionnels aux sportifs et de les orienter dans leurs choix de compléments alimentaires, de qualité, afin de satisfaire les besoins de ces derniers. (168)

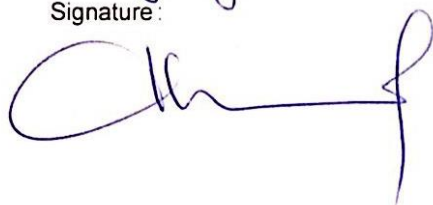
Un suivi renforcé des sportifs par les professionnels de santé et plus particulièrement par le pharmacien d'officine est à envisager dans le futur proche afin de mieux accompagner et mieux prendre en charge les besoins et demandes des sportifs. (169)

Le Président de la thèse,

Nom :

P. J. Gaudabé

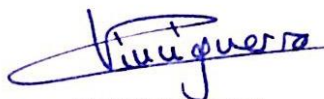
Signature :



Vu et permis d'imprimer, Lyon, le **- 5 JUIN 2018**

Vu, la Directrice de l'Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, Faculté de Pharmacie

Pour le Président de l'Université Claude Bernard Lyon 1,



Professeure C. VINCIGUERRA

BIBLIOGRAPHIE

1. COMMISSION EUROPEENNE-Eurobaromètre spécial 334, Sport et activités physiques, Mars 2010. [Internet]. [cité 11 mars 2018]. Disponible sur: http://ec.europa.eu/commfrontoffice/publicopinion/archives/ebs/ebs_334_fr.pdf
2. B. LEFEVRE, P. THIERY, Ministère des sports, les résultats de l'enquête 2010 sur les pratiques physiques et sportives en France [Internet]. [cité 11 mars 2018]. Disponible sur: http://www.sports.gouv.fr/IMG/archives/pdf/Stat-Info_01-11_decembre2010.pdf
3. OMS | Activité physique [Internet]. WHO. [cité 11 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.who.int/dietphysicalactivity/pa/fr/>
4. INSERM (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale) - Activité physique : contexte et effets sur la santé. 2007 [Internet]. [cité 11 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.sports.gouv.fr/IMG/pdf/1-inserm.pdf>
5. Recommandations en termes d'activité physique - Bouger santé [Internet]. [cité 11 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.bougersante.ch/site/ap/recommandations>
6. PNNS | Manger Bouger [Internet]. [cité 11 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.mangerbouger.fr/PNNS>
7. F. DUFOREZ-Activité physique et sommeil [Internet]. [cité 11 mars 2018]. Disponible sur: https://ac-els-cdn-com.docelec.univ-lyon1.fr/S1769449306700759/1-s2.0-S1769449306700759-main.pdf?_tid=6c4f6056-3ce9-4ba0-b776-9b51b404c7ad&acdnt=1520780613_ec4a657251f9489ccc6a84a7a3fbf031
8. Haute Autorité de Santé - Surpoids et obésité de l'enfant et de l'adolescent (actualisation des recommandations 2003) [Internet]. [cité 11 mars 2018]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_964941/fr/surpoids-et-obesite-de-l-enfant-et-de-l-adolescent-actualisation-des-recommandations-2003
9. Françoise COUIC MARINIER, Pierre-Xavier FRANK. SPORTIFS : BOOSTEZ VOS PERFORMANCES AU NATUREL. 2014. 543 p.
10. Moore SC, Patel AV, Matthews CE, Gonzalez AB de, Park Y, Katki HA, et al. Leisure Time Physical Activity of Moderate to Vigorous Intensity and Mortality: A Large Pooled Cohort Analysis. PLOS Med. 6 nov 2012;9(11):e1001335.
11. Santi P. Le sport, un médicament contre le cancer. Le Monde.fr [Internet]. 13 oct 2016 [cité 12 mars 2018]; Disponible sur: http://www.lemonde.fr/sante/article/2016/10/13/le-sport-un-medicament-contre-le-cancer_5012713_1651302.html
12. Barnault M, Dutruel D. Place de l'activité physique dans la prise en charge des pathologies neurologiques. Actual Pharm. 1 févr 2017;56(563):26-32.
13. OMS | Activité physique [Internet]. WHO. [cité 11 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs385/fr/>

14. KOHLER C. Le tissu musculaire-Collège universitaire et hospitalier des histologistes, embryologistes, cytologistes et cytogénéticiens (CHEC). 2011 2010;14.
15. Paulo Fernandes C, Popineau C, Université du droit et de la santé (Lille). Présentation de concepts de physiothérapie selon trois disciplines les étirements, la musculation et l'endurance, applications médicales et sportives. [S.l.]: [s.n.]; 2008.
16. AFM-Association Française contre les Myopathies. Le muscle squelettique. juin 2003;8.
17. LO Ming. Physiologie du sport et de l'exercice-UELC Sport. Université Claude Bernard LYON1; 2015.
18. CAMIRAND Geoffrey. Développement d'un protocole d'induction de tolérance immunologique applicable à la transplantation de myoblastes comme traitement de la dystrophie musculaire de Duchenne [Internet]. 2004 [cité 13 mars 2018]. Disponible sur: <http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/21784/21784.html>
19. William McARDLE, F. KATCH, V. KATCH. Physiologie de l'activité physique: Energie, nutrition et performance. 4ème édition. Paris: Maloine; 2001. 712 p.
20. FFHM-MUSCULATION-Discipline pour tous [Internet]. [cité 9 avr 2018]. Disponible sur: <http://www.ffhaltero.fr/Musculation/Accueil>
21. Evelyn B, William B, J B. Le Renforcement Musculaire en Rééducation. Kinesithérapie. 1 janv 2003;17:69-77.
22. LES APPAREILS D ISOCINETISME EN EVALUATION ET EN REEDUCATION MUSCULAIRE : INTERET ET UTILISATION - PDF [Internet]. [cité 8 avr 2018]. Disponible sur: <http://docplayer.fr/4150104-Les-appareils-d-isocinetisme-en-evaluation-et-en-reeducation-musculaire-interet-et-utilisation.html>
23. La phase positive, la phase négative et le statique [Internet]. [cité 13 mars 2018]. Disponible sur: <https://www.all-musculation.com/exercices-entrainement/contraction-isometrique-excentrique-concentrique.html>
24. ATP/ADP [Internet]. Chemistry LibreTexts. 2013 [cité 9 avr 2018]. Disponible sur: https://chem.libretexts.org/Core/Biological_Chemistry/Metabolism/ATP%2F%2FADP
25. BOISSEAU Nathalie. Nutrition et bioénergétique du sportif- Bases fondamentales. Masson. Masson; 2005. 213 p.
26. Guezennec C-Y. Physiologie de l'activité musculaire lors de la pratique sportive. [Internet]. [cité 9 avr 2018]. Disponible sur: <http://essonne.franceolympique.com/essonne/fichiers/File/physiologieeffort.pdf>
27. Catherine Baratti-Elbaz PLM. Biochimie - 2e édition [Internet]. Dunod; 2015 [cité 20 mars 2018]. 160 p. Disponible sur: <https://www-dawsonera-com.docelec.univ-lyon1.fr/abstract/9782100722877>
28. Françoise Quentin P-FG. Maxi fiches - Biochimie [Internet]. Dunod; 2015 [cité 20 mars 2018]. 222 p. Disponible sur: <https://www-dawsonera-com.docelec.univ-lyon1.fr/abstract/9782100739226>
29. Ancellin R, Saul C, Thomann C, Coipel M. Glucides et santé : Etat des lieux, évaluation et recommandations. 2004;167.

30. Davies KJA, Quintanilha AT, Brooks GA, Packer L. Free radicals and tissue damage produced by exercise. *Biochem Biophys Res Commun*. 31 août 1982;107(4):1198-205.
31. ANSES. Actualisation des repères du PNNS : élaboration des références nutritionnelles [Internet]. 2016 [cité 20 mars 2018]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012SA0103Ra-2.pdf>
32. Les glucides [Internet]. [cité 20 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.caducee.net/Fiches-techniques/glucides.asp>
33. Olivia MEEUS, Frédéric MOMPO. Diététique de la musculation. Amphora. PARIS: Amphora; 2014. 207 p.
34. LEHNINGER A., NELSON D.I., COX M.M. Principes de Biochimie. Flammarion. 1998. 1032 p.
35. Métabolisme des glucides – Cours Pharmacie [Internet]. [cité 20 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.cours-pharmacie.com/biochimie/metabolisme-des-glucides.html>
36. Les lipides | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail [Internet]. [cité 18 mars 2018]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/content/les-lipides>
37. Gomez-Merino D, Portero P. Nutrition lipidique, santé et sport. *Kinésithérapie Rev*. 1 janv 2008;8(73):57-62.
38. Nancy CLARK. NUTRITION DU SPORTIF. Vigot. PARIS: Vigot; 2015. 381 p.
39. Ghemri S, Goudable J. La nutrition du sportif en vue d'une préparation: exemple du judoka. [Lyon]: Bibliothèque Lyon 1; 2017.
40. Adeva-Andany MM, Carneiro-Freire N, Seco-Filgueira M, Fernández-Fernández C, Mouriño-Bayolo D. Mitochondrial β -oxidation of saturated fatty acids in humans. *Mitochondrion* [Internet]. 15 mars 2018 [cité 10 avr 2018]; Disponible sur: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1567724917302891>
41. VERGÈS B. Insulinosensibilité et lipides. [Httpwwwem-Premiumcomdocelecuniv-Lyon1frdatarevues1262363600270002223](http://www.em-premium.com/doc/elecuniv-Lyon1frdatarevues1262363600270002223) [Internet]. 17 févr 2008 [cité 25 mai 2018]; Disponible sur: <http://www.em.premium.com/article/80000/resultatrecherche/3>
42. GRIMALDI A. Traité de diabétologie. 2ème édition. PARIS: LAVOISIER; 2009. 1044 p. (Traité).
43. MARTIN Ambroise, AFSSA. Apports nutritionnels conseillés pour la population française. Paris; 2001. 610 p.
44. Trumbo P, Schlicker S, Yates AA, Poos M, Food and Nutrition Board of the Institute of Medicine, The National Academies. Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids. *J Am Diet Assoc*. nov 2002;102(11):1621-30.
45. van Loon LJC, Greenhaff PL, Constantin-Teodosiu D, Saris WHM, Wagenmakers AJM. The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. *J Physiol*. 1 oct 2001;536(Pt 1):295-304.
46. van Loon LJC, Koopman R, Stegen JHCH, Wagenmakers AJM, Keizer HA, Saris WHM. Intramyocellular lipids form an important substrate source during moderate intensity exercise in endurance-trained males in a fasted state. *J Physiol*. 1 déc 2003;553(Pt 2):611-25.

47. Saltin B, Astrand PO. Free fatty acids and exercise. *Am J Clin Nutr.* mai 1993;57(5 Suppl):752S-757S; discussion 757S-758S.
48. Brooks GA, Mercier J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the « crossover » concept. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. juin 1994;76(6):2253-61.
49. KARP. Biologie cellulaire et moléculaire. De Boeck. PARIS; 2010. 816 p.
50. McARDLE W.D., KATCH F.I., KATCH V.L. NUTRITION ET PERFORMANCES SPORTIVES. De Boeck. PARIS: De Boeck; 2004. 687 p.
51. Les protéines | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail [Internet]. [cité 23 mars 2018]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/content/les-prot%C3%A9ines>
52. Collège des Enseignants de Nutrition. Métabolisme protéique. 2010 2011;30.
53. POORTMANS Jacques, BOISSEAU Nathalie. Biochimie des activités physiques et sportives. de boeck. PARIS; 2017. 688 p.
54. AFSSA. AGENCE FRANCAISE DE SECURITE SANITAIRE DES ALIMENTS-Apport en protéines : consommation, qualité, besoins et recommandations. 2007;461.
55. Julien VENESSON. NUTRITION DE LA FORCE. THIERRY SOUCCAR. Vergèze; 2011. 270 p.
56. Slater G, Phillips SM. Nutrition guidelines for strength sports: Sprinting, weightlifting, throwing events, and bodybuilding. *J Sports Sci.* janv 2011;29(sup1):S67-77.
57. DAVICCO MJ, DEMIGNE C., COXAM V. Etat des lieux : Alimentation et équilibre acido-basique. [Internet]. Fonds français alimentation et santé; 2013. Disponible sur: <http://docplayer.fr/13846834-Alimentation-et-equilibre-acido-basique.html>
58. Hattori CM, Tiselius H-G, Heilberg IP. Whey protein and albumin effects upon urinary risk factors for stone formation. *Urolithiasis.* oct 2017;45(5):421-8.
59. Aparicio VA, Nebot E, Tassi M, Camiletti-Moirón D, Sanchez-Gonzalez C, Porres JM, et al. Whey Versus Soy Protein Diets and Renal Status in Rats. *J Med Food.* 23 juill 2014;17(9):1011-6.
60. Nunes R, Silva P, Alves J, Stefani G, Petry M, Rhoden C, et al. Effects of resistance training associated with whey protein supplementation on liver and kidney biomarkers in rats. *Appl Physiol Nutr Metab.* 20 juin 2013;38(11):1166-9.
61. Aparicio VA, Nebot E, Porres JM, Ortega FB, Heredia JM, Lopez-Jurado M, et al. Effects of high-whey-protein intake and resistance training on renal, bone and metabolic parameters in rats. *Br J Nutr.* 28 mars 2011;105(6):836-45.
62. Friedman AN, Ogden LG, Foster GD, Klein S, Stein R, Miller B, et al. Comparative effects of low-carbohydrate high-protein versus low-fat diets on the kidney. *Clin J Am Soc Nephrol CJASN.* juill 2012;7(7):1103-11.
63. Décret n°2006-352 du 20 mars 2006 relatif aux compléments alimentaires. 2006-352 mars 20, 2006.
64. Compléments alimentaires | Autorité européenne de sécurité des aliments [Internet]. [cité 27 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.efsa.europa.eu/fr/topics/topic/food-supplements>

65. Compléments alimentaires - Présentation générale [Internet]. Le portail des ministères économiques et financiers. [cité 27 mars 2018]. Disponible sur: <https://www.economie.gouv.fr/dgccrf/s%C3%A9curit%C3%A9/produits-alimentaires/complements-alimentaires>
66. Prévention du dopage et alimentation - Une norme AFNOR pour apporter de la confiance aux sportifs [Internet]. AFNOR Normalisation. 2012 [cité 16 avr 2018]. Disponible sur: <https://normalisation.afnor.org/actualites/prevention-du-dopage-et-alimentation-une-norme-afnor-pour-apporter-de-la-confiance-aux-sportifs/>
67. Le dispositif de nutrivigilance : objectif et principaux résultats | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail [Internet]. [cité 27 mars 2018]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/content/le-dispositif-de-nutrivigilance-objectif-et-principaux-r%C3%A9sultats>
68. CHEN W-C, HUANG W-C, CHIU C-C, CHANG Y-K, HUANG C-C. Whey Protein Improves Exercise Performance and Biochemical Profiles in Trained Mice. *Med Sci Sports Exerc.* août 2014;46(8):1517-24.
69. Singh A, Pezeshki A, Zapata RC, Yee NJ, Knight CG, Tuor UI, et al. Diets enriched in whey or casein improve energy balance and prevent morbidity and renal damage in salt-loaded and high-fat-fed spontaneously hypertensive stroke-prone rats. *J Nutr Biochem.* 1 nov 2016;37:47-59.
70. Pasin G, Comerford KB. Dairy Foods and Dairy Proteins in the Management of Type 2 Diabetes: A Systematic Review of the Clinical Evidence. *Adv Nutr.* 1 mai 2015;6(3):245-59.
71. Ormsbee MJ, Willingham BD, Marchant T, Binkley TL, Specker BL, Vukovich MD. Protein Supplementation During a 6-Month Concurrent Training Program: Effect on Body Composition and Muscular Strength in Sedentary Individuals. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 27 févr 2018;1-27.
72. Bigard X. Protéines et sport, pour quoi faire? [Httpwwwem-Premiumcomdocelecuniv-Lyon1frdatarevues17667305v9i36S1766730513001113](http://www.em-premium.com/doc/elec/univ-lyon1/fr/data/revues/17667305v9i36S1766730513001113) [Internet]. 20 nov 2013 [cité 23 mars 2018]; Disponible sur: [http://www.em-premium.com/doc/elec.univ-lyon1.fr/article/851821/resultatrecherche/1](http://www.em-premium.com/doc/elec/univ-lyon1.fr/article/851821/resultatrecherche/1)
73. LES ACIDES AMINES [Internet]. Les acides aminés. [cité 17 avr 2018]. Disponible sur: <http://www.les-acides-amines.com/les-acides-amines/>
74. Campos HO, Drummond LR, Rodrigues QT, Machado FSM, Pires W, Wanner SP, et al. Nitrate supplementation improves physical performance specifically in non-athletes during prolonged open-ended tests: a systematic review and meta-analysis. *Br J Nutr.* mars 2018;119(6):636-57.
75. Sureda A, Pons A. Arginine and citrulline supplementation in sports and exercise: ergogenic nutrients? *Med Sport Sci.* 2012;59:18-28.
76. Liu T-H, Wu C-L, Chiang C-W, Lo Y-W, Tseng H-F, Chang C-K. No effect of short-term arginine supplementation on nitric oxide production, metabolism and performance in intermittent exercise in athletes. *J Nutr Biochem.* juin 2009;20(6):462-8.
77. Castell LM. Glutamine Supplementation In Vitro and In Vivo, in Exercise and in Immunodepression. *Sports Med.* 1 avr 2003;33(5):323-45.
78. Song Q-H, Xu R-M, Zhang Q-H, Shen G-Q, Ma M, Zhao X-P, et al. Glutamine supplementation and immune function during heavy load training. *Int J Clin Pharmacol Ther.* mai 2015;53(5):372-6.

79. Tumilty L, Davison G, Beckmann M, Thatcher R. Oral tyrosine supplementation improves exercise capacity in the heat. *Eur J Appl Physiol.* déc 2011;111(12):2941-50.
80. Poortmans JR. *Principles of Exercise Biochemistry.* Karger Medical and Scientific Publishers; 2004. 315 p.
81. Waldron M, Whelan K, Jeffries O, Burt D, Howe L, Patterson SD. The effects of acute branched-chain amino acid supplementation on recovery from a single bout of hypertrophy exercise in resistance-trained athletes. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appl Nutr Metab.* juin 2017;42(6):630-6.
82. Jackman SR, Witard OC, Philp A, Wallis GA, Baar K, Tipton KD. Branched-Chain Amino Acid Ingestion Stimulates Muscle Myofibrillar Protein Synthesis following Resistance Exercise in Humans. *Front Physiol.* 2017;8:390.
83. Blomstrand E, Hassmén P, Ekblom B, Newsholme EA. Administration of branched-chain amino acids during sustained exercise--effects on performance and on plasma concentration of some amino acids. *Eur J Appl Physiol.* 1991;63(2):83-8.
84. Ra S-G, Miyazaki T, Kojima R, Komine S, Ishikura K, Kawanaka K, et al. Effect of BCAA supplement timing on exercise-induced muscle soreness and damage: a pilot placebo-controlled double-blind study. *J Sports Med Phys Fitness.* 22 sept 2017;
85. Bohé J, Low A, Wolfe RR, Rennie MJ. Human muscle protein synthesis is modulated by extracellular, not intramuscular amino acid availability: a dose-response study. *J Physiol.* 1 oct 2003;552(Pt 1):315-24.
86. Silvers KM, Scott KM. Fish consumption and self-reported physical and mental health status. *Public Health Nutr.* juin 2002;5(3):427-31.
87. Mozaffarian D, Rimm EB. Fish intake, contaminants, and human health: evaluating the risks and the benefits. *JAMA.* 18 oct 2006;296(15):1885-99.
88. Mori TA, Woodman RJ. The independent effects of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid on cardiovascular risk factors in humans. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* mars 2006;9(2):95-104.
89. Fontani G, Corradeschi F, Felici A, Alfatti F, Bugarini R, Fiaschi AI, et al. Blood profiles, body fat and mood state in healthy subjects on different diets supplemented with Omega-3 polyunsaturated fatty acids. *Eur J Clin Invest.* août 2005;35(8):499-507.
90. Smith BK, Sun GY, Donahue OM, Thomas TR. Exercise plus n-3 fatty acids: additive effect on postprandial lipemia. *Metabolism.* oct 2004;53(10):1365-71.
91. Varady KA, Jones PJH. Combination diet and exercise interventions for the treatment of dyslipidemia: an effective preliminary strategy to lower cholesterol levels? *J Nutr.* août 2005;135(8):1829-35.
92. Delarue J. Acides gras polyinsaturés et inflammation. *Nutr Clin Métabolisme.* 1 janv 2001;15(3):172-6.
93. Machado Andrade P de M, Tavares do Carmo M das G. Dietary long-chain omega-3 fatty acids and anti-inflammatory action: potential application in the field of physical exercise. *Nutr Burbank Los Angel Cty Calif.* févr 2004;20(2):243.

94. Jeukendrup AE, Aldred S. Fat supplementation, health, and endurance performance. *Nutr* Burbank Los Angel Cty Calif. août 2004;20(7-8):678-88.
95. Chos D, Riche D. Apports de sécurité en lipides chez le sportif à haut niveau d'entraînement. [Httpwwwem-Premiumcomdocelecuniv-Lyon1frdatarevues076515970020000204001145](http://www.em-premium.com/doc/elecuniv-Lyon1/fr/data/revues/076515970020000204001145) [Internet]. [cité 17 avr 2018]; Disponible sur: <http://www.em.premium.com/article/30839/resultatrecherche/1>
96. AFSSA. L'évaluation des risques présentés par la créatine pour le consommateur -Véracité des allégations relatives à la performance sportive ou à l'augmentation de la masse musculaire. *janv* 2001;104.
97. Jagim A, Oliver JM, Sanchez A, Galvan E, Fluckey J, Reichman S, et al. Kre-Alkalyn® supplementation does not promote greater changes in muscle creatine content, body composition, or training adaptations in comparison to creatine monohydrate. *J Int Soc Sports Nutr*. 19 nov 2012;9(Suppl 1):P11.
98. Terjung RL, Clarkson P, Eichner ER, Greenhaff PL, Hespel PJ, Israel RG, et al. American College of Sports Medicine roundtable. The physiological and health effects of oral creatine supplementation. *Med Sci Sports Exerc*. mars 2000;32(3):706-17.
99. Smith J, Dahm DL. Creatine use among a select population of high school athletes. *Mayo Clin Proc*. déc 2000;75(12):1257-63.
100. ANSES. Les compléments alimentaires destinés aux sportifs-Avis de l'Anses [Internet]. 2016. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2014SA0008Ra.pdf>
101. Poortmans JR, Francaux M. Adverse effects of creatine supplementation: fact or fiction? *Sports Med Auckl NZ*. sept 2000;30(3):155-70.
102. Que sont les vitamines ? | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail [Internet]. [cité 1 avr 2018]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/content/que-sont-les-vitamines>
103. Les minéraux | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail [Internet]. [cité 1 avr 2018]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/content/les-min%C3%A9raux>
104. Theodorou AA, Nikolaidis MG, Paschalis V, Koutsias S, Panayiotou G, Fatouros IG, et al. No effect of antioxidant supplementation on muscle performance and blood redox status adaptations to eccentric training. *Am J Clin Nutr*. juin 2011;93(6):1373-83.
105. Yfanti C, Akerström T, Nielsen S, Nielsen AR, Mounier R, Mortensen OH, et al. Antioxidant supplementation does not alter endurance training adaptation. *Med Sci Sports Exerc*. juill 2010;42(7):1388-95.
106. Troegeler-Meynadier A, Enjalbert F. Les acides linoléiques conjugués : Intérêts biologiques en nutrition. *Rev Médecine Vét*. 2005;1(n° 4):207-16.
107. Baddini Feitoza A, Fernandes Pereira A, Ferreira da Costa N, Gonçalves Ribeiro B. Conjugated linoleic acid (CLA): effect modulation of body composition and lipid profile. *Nutr Hosp*. août 2009;24(4):422-8.

108. Kim Y, Kim D, Park Y. Conjugated linoleic acid (CLA) promotes endurance capacity via peroxisome proliferator-activated receptor δ -mediated mechanism in mice. *J Nutr Biochem.* 2016;38:125-33.
109. Terasawa N, Okamoto K, Nakada K, Masuda K. Effect of Conjugated Linoleic Acid Intake on Endurance Exercise Performance and Anti-fatigue in Student Athletes. *J Oleo Sci.* 1 juill 2017;66(7):723-33.
110. Tajmanesh M, Aryaeian N, Hosseini M, Mazaheri R, Kordi R. Conjugated Linoleic Acid Supplementation has no Impact on Aerobic Capacity of Healthy Young Men. *Lipids.* août 2015;50(8):805-9.
111. Cho K, Song Y, Kwon D. Conjugated linoleic acid supplementation enhances insulin sensitivity and peroxisome proliferator-activated receptor gamma and glucose transporter type 4 protein expression in the skeletal muscles of rats during endurance exercise. *Iran J Basic Med Sci.* janv 2016;19(1):20-7.
112. Gimenes AC, Bravo DM, Nápolis LM, Mello MT, Oliveira ASB, Neder JA, et al. Effect of L-carnitine on exercise performance in patients with mitochondrial myopathy. *Braz J Med Biol Res Rev Bras Pesqui Medicas E Biol.* avr 2015;48(4):354-62.
113. Orer GE, Guzel NA. The effects of acute L-carnitine supplementation on endurance performance of athletes. *J Strength Cond Res.* févr 2014;28(2):514-9.
114. Fielding R, Riede L, Lugo JP, Bellamine A. L-Carnitine Supplementation in Recovery after Exercise. *Nutrients.* 13 mars 2018;10(3).
115. Caféine et santé | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail [Internet]. [cité 22 avr 2018]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/content/caf%C3%A9ine-et-sant%C3%A9>
116. Grgic J, Trexler ET, Lazinica B, Pedisic Z. Effects of caffeine intake on muscle strength and power: a systematic review and meta-analysis. *J Int Soc Sports Nutr.* 2018;15:11.
117. Meeusen R, Roelands B, Spriet LL. Caffeine, exercise and the brain. *Nestle Nutr Inst Workshop Ser.* 2013;76:1-12.
118. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific Opinion on the safety of caffeine: Safety of caffeine. *EFSA J.* mai 2015;13(5):4102.
119. JimStoppaniPhD. The Benefits Of ZMA: More Than A Sleep Supplement [Internet]. *Bodybuilding.com.* 2014 [cité 25 mai 2018]. Disponible sur: <https://www.bodybuilding.com/content/the-benefits-of-zma-more-than-a-sleep-supplement.html>
120. Le ZMA va-t-il réellement booster votre testostérone ? [Internet]. [cité 25 mai 2018]. Disponible sur: <http://www.guide-vitamines.org/actualites-promotions/zma-va-t-il-reellement-booster-votre-testosterone.html>
121. Contribution à l'étude de Tribulus terrestris [Internet]. [NANCY]: UNIVERSITE HENRI POINCARÉ; 2002. Disponible sur: http://docnum.univ-lorraine.fr/public/SCDPHA_T_2002_JACOT_ELISE.pdf

122. Pharmacopée française - ANSM : Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé [Internet]. [cité 25 mai 2018]. Disponible sur: <http://ansm.sante.fr/Mediatheque/Publications/Pharmacopée-française-Plan-Preamble-index>
123. Shahid M, Riaz M, Talpur MMA, Pirzada T. Phytopharmacology of Tribulus terrestris. J Biol Regul Homeost Agents. sept 2016;30(3):785-8.
124. Rogerson S, Riches CJ, Jennings C, Weatherby RP, Meir RA, Marshall-Gradisnik SM. The effect of five weeks of Tribulus terrestris supplementation on muscle strength and body composition during preseason training in elite rugby league players. J Strength Cond Res. mai 2007;21(2):348-53.
125. Antonio J, Uelmen J, Rodriguez R, Earnest C. The effects of Tribulus terrestris on body composition and exercise performance in resistance-trained males. Int J Sport Nutr Exerc Metab. juin 2000;10(2):208-15.
126. Gauthaman K, Ganesan AP. The hormonal effects of Tribulus terrestris and its role in the management of male erectile dysfunction--an evaluation using primates, rabbit and rat. Phytomedicine Int J Phytother Phytopharm. janv 2008;15(1-2):44-54.
127. Neychev VK, Mitev VI. The aphrodisiac herb Tribulus terrestris does not influence the androgen production in young men. J Ethnopharmacol. 3 oct 2005;101(1-3):319-23.
128. Décret n° 2016-1923 du 19 décembre 2016 portant publication de l'amendement à l'annexe I de la convention internationale contre le dopage dans le sport, adopté à Paris le 29 novembre 2016 | Legifrance [Internet]. [cité 23 avr 2018]. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2016/12/19/MAEJ1634743D/jo/texte>
129. Tous dopés ! Le Moniteur des pharmacies.fr [Internet]. 13 oct 2007 [cité 23 avr 2018]; Disponible sur: <https://www.lemoniteurdespharmacies.fr/revues/le-moniteur-des-pharmacies/article/n-2696/tous-dopes.html>
130. Agence Mondiale Antidopage. Liste des interdictions [Internet]. Agence mondiale antidopage. 2017 [cité 23 avr 2018]. Disponible sur: <https://www.wada-ama.org/fr/node/8531>
131. Positive drug tests from supplements [Internet]. [cité 23 avr 2018]. Disponible sur: <http://physrev.sportsci.sportsci.org/jour/0003/lmb.html>
132. van der Bijl P, Tutelyan VA. Dietary supplements containing prohibited substances. Vopr Pitan. 2013;82(6):6-13.
133. Geyer H, Parr MK, Koehler K, Mareck U, Schänzer W, Thevis M. Nutritional supplements cross-contaminated and faked with doping substances. J Mass Spectrom JMS. juill 2008;43(7):892-902.
134. Leplongeon M. Dopage : le scandale sanitaire qui monte, qui monte... [Internet]. Le Point. 2017 [cité 25 mai 2018]. Disponible sur: http://www.lepoint.fr/societe/dopage-le-scandale-sanitaire-qui-monte-qui-monte-27-11-2017-2175470_23.php
135. SPORT Protect – le Sport, l'Esprit en Plus – Labellisation antidopage [Internet]. [cité 24 avr 2018]. Disponible sur: <http://www.sport-protect.org/labellisation-antidopage/>
136. pharmacies.fr LM des. Dopage : prison avec sursis pour un officinal - Le Moniteur des Pharmacies n° 2581 du 07/05/2005 - Revues - Le Moniteur des pharmacies.fr [Internet]. Le

Moniteur des pharmacie.fr. [cité 23 avr 2018]. Disponible sur:
<https://www.lemoniteurdespharmacies.fr/revues/le-moniteur-des-pharmacies/article/n-2581/dopage-prison-avec-sursis-pour-un-officinal.html>

137. pharmacies.fr LM des. Dopage : Un pharmacien dans la tourmente Cofidis - Le Moniteur des Pharmacies n° 2651 du 18/11/2006 - Revues - Le Moniteur des pharmacies.fr [Internet]. Le Moniteur des pharmacie.fr. [cité 14 mai 2018]. Disponible sur:
<https://www.lemoniteurdespharmacies.fr/revues/le-moniteur-des-pharmacies/article/n-2651/dopage-un-pharmacien-dans-la-tourmente-cofidis.html>
138. Compléments alimentaires destinés aux sportifs : des risques pour la santé pour des bénéfices incertains | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail [Internet]. [cité 14 mai 2018]. Disponible sur:
<https://www.anses.fr/fr/content/compl%C3%A9ments-alimentaires-destin%C3%A9s-aux-sportifs-des-risques-pour-la-sant%C3%A9-pour-des-b%C3%A9n%C3%A9fices>
139. Hansen DK, George NI, White GE, Pellicore LS, Abdel-Rahman A, Fabricant D, et al. Physiological effects following administration of Citrus aurantium for 28 days in rats. *Toxicol Appl Pharmacol*. 15 juin 2012;261(3):236-47.
140. Karnatovskaia LV, Leoni JC, Freeman ML. Cardiac arrest in a 21-year-old man after ingestion of 1,3-DMAA-containing workout supplement. *Clin J Sport Med Off J Can Acad Sport Med*. janv 2015;25(1):e23-25.
141. Andraws R, Chawla P, Brown DL. Cardiovascular effects of ephedra alkaloids: a comprehensive review. *Prog Cardiovasc Dis*. févr 2005;47(4):217-25.
142. Vukovich MD, Schoorman R, Heilman C, Jacob P, Benowitz NL. Caffeine-herbal ephedra combination increases resting energy expenditure, heart rate and blood pressure. *Clin Exp Pharmacol Physiol*. févr 2005;32(1-2):47-53.
143. Gårevik N, Skogastierna C, Rane A, Ekström L. Single dose testosterone increases total cholesterol levels and induces the expression of HMG CoA reductase. *Subst Abuse Treat Prev Policy*. 20 mars 2012;7:12.
144. Hatton CK, Green GA, Ambrose PJ. Performance-enhancing drugs: understanding the risks. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. nov 2014;25(4):897-913.
145. Avelar-Escobar G, Méndez-Navarro J, Ortiz-Olvera NX, Castellanos G, Ramos R, Gallardo-Cabrera VE, et al. Hepatotoxicity associated with dietary energy supplements: use and abuse by young athletes. *Ann Hepatol*. août 2012;11(4):564-9.
146. Foley S, Butlin E, Shields W, Lacey B. Experience with OxyELITE pro and acute liver injury in active duty service members. *Dig Dis Sci*. déc 2014;59(12):3117-21.
147. Dhar R, Stout CW, Link MS, Homoud MK, Weinstock J, Estes NAM. Cardiovascular toxicities of performance-enhancing substances in sports. *Mayo Clin Proc*. oct 2005;80(10):1307-15.
148. Momaya A, Fawal M, Estes R. Performance-enhancing substances in sports: a review of the literature. *Sports Med Auckl NZ*. avr 2015;45(4):517-31.
149. Kanayama G, Kean J, Hudson JI, Pope HG. Cognitive deficits in long-term anabolic-androgenic steroid users. *Drug Alcohol Depend*. 1 juin 2013;130(1-3):208-14.

150. Estrada M, Varshney A, Ehrlich BE. Elevated testosterone induces apoptosis in neuronal cells. *J Biol Chem.* 1 sept 2006;281(35):25492-501.
151. Ha YJ, Han YJ, Choi YW, Myung KB, Choi HY. Sibutramine (reductil®)-induced cutaneous leukocytoclastic vasculitis: a case report. *Ann Dermatol.* nov 2011;23(4):544-7.
152. Grundlingh J, Dargan PI, El-Zanfaly M, Wood DM. 2,4-dinitrophenol (DNP): a weight loss agent with significant acute toxicity and risk of death. *J Med Toxicol Off J Am Coll Med Toxicol.* sept 2011;7(3):205-12.
153. Castell LM, Burke LM, Stear SJ. BJSM reviews: A–Z of supplements: dietary supplements, sports nutrition foods and ergogenic aids for health and performance Part 2. *Br J Sports Med.* 1 oct 2009;43(11):807-10.
154. ANSM. Résumé des Caractéristiques du Produit-ANDROTARDYL [Internet]. 2013 [cité 15 mai 2018]. Disponible sur: <http://agence-prd.ansm.sante.fr/php/ecodex/rcp/R0222159.htm>
155. Vorona E, Nieschlag E. Adverse effects of doping with anabolic androgenic steroids (AAS) in competitive athletics, recreational sports and bodybuilding. *Minerva Endocrinol.* 19 févr 2018;
156. Obésité et surpoids [Internet]. World Health Organization. [cité 24 mai 2018]. Disponible sur: <http://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
157. Ma Formation Officinale. Support de formation -Diététique minceur [Internet]. 2016. Disponible sur: <https://app.maformationofficinale.com/formation/doc/a0m5700000HpgaOAAR>
158. Qu'est-ce que l'IMC, Indice de Masse Corporelle, et pourquoi le mesurer ? [Internet]. <https://www.passeportsante.net/>. 2017 [cité 24 mai 2018]. Disponible sur: <https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/Regimes/Fiche.aspx?doc=IMC>
159. Conseils - Quel est votre morphotype ? [Internet]. [cité 16 mai 2018]. Disponible sur: <https://www.lequipe.fr/llosport/Archives/Actualites/Quel-est-votre-morphotype/743788>
160. Ectomorphe, Mesomorphe et Endomorphe : les morphotypes en musculation [Internet]. [cité 16 mai 2018]. Disponible sur: <https://www.all-musculation.com/musculation/types-morphologiques/>
161. Roza AM, Shizgal HM. The Harris Benedict equation reevaluated: resting energy requirements and the body cell mass. *Am J Clin Nutr.* 1 juill 1984;40(1):168-82.
162. ANSES. Risques sanitaires liés aux pratiques alimentaires d'amaigrissement [Internet]. PARIS; 2010 nov p. 16. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/system/files/PRES2010CPA17.pdf>
163. Régimes amaigrissants | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail [Internet]. [cité 20 mars 2018]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/content/régimes-amaigrissants>
164. Compléments alimentaires [Internet]. Ministère des Solidarités et de la Santé. 2013 [cité 24 mai 2018]. Disponible sur: <http://solidarites-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/denrees-alimentaires/article/complements-alimentaires>
165. LOI n° 2016-41 du 26 janvier 2016 de modernisation de notre système de santé. 2016-41 janv 26, 2016.
166. Code de la santé publique - Article R4235-2. Code de la santé publique.

167. Cespharm - Compléments alimentaires & dopage : un risque à prévenir [Internet]. [cité 23 avr 2018]. Disponible sur: <http://www.cespharm.fr/fr/Prevention-sante/Actualites/Archives/Complements-alimentaires-dopage-un-risque-a-prevenir>
168. Et si votre pharmacien devenait votre coach sportif ? [Internet]. Allo docteurs. 2014 [cité 24 mai 2018]. Disponible sur: https://www.allodocteurs.fr/actualite-sante-et-si-votre-pharmacien-devenait-votre-coach-sportif-_13304.html
169. Ça bouge chez les pharmaciens [Internet]. L'ACTU de l'Université de Franche-Comté. [cité 22 mai 2018]. Disponible sur: <http://actu.univ-fcomte.fr/article/ca-bouge-chez-les-pharmaciens-006039>

L'ISPB - Faculté de Pharmacie de Lyon et l'Université Claude Bernard Lyon 1 n'entendent donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions sont considérées comme propres à leurs auteurs.

L'ISPB - Faculté de Pharmacie de Lyon est engagé dans une démarche de lutte contre le plagiat. De ce fait, une sensibilisation des étudiants et encadrants des thèses a été réalisée avec notamment l'incitation à l'utilisation d'une méthode de recherche de similitudes.

FEKIR Younes

Nutrition et consommation de compléments alimentaires en musculation : les risques de dérives possibles et le rôle du pharmacien d'officine pour les éviter.

Th. D. Pharm., Lyon 1, 2018, 180 p.

RESUME

La musculation comme pratique sportive, dont le but est l'amélioration des qualités musculaires est aujourd'hui pratiquée par de nombreux sportifs -professionnels ou amateurs- et suscite un grand intérêt particulièrement chez les plus jeunes. Le développement de la masse musculaire et la diminution de la masse grasse sont des objectifs poursuivis par un grand nombre de personnes : de ce fait, la musculation à visée esthétique est un des principaux objectifs de la pratique de ce sport sans compter les bénéfices certains d'une activité physique et sportive sur la santé.

La pratique de la musculation est basée sur l'application du principe de surcharge progressive, accompagnée de plusieurs régimes de contraction, ceci servant de base à la plupart des méthodes d'entraînement. Outre l'entraînement, le régime alimentaire est également très important dans la préparation du sportif puisque la qualité de ces apports alimentaires va impacter les performances : ainsi une stratégie nutritionnelle doit être établie par le sportif en fonction des objectifs définis.

De nombreux sportifs ont également recours à des compléments alimentaires afin d'améliorer leurs performances physiques, toutefois certains compléments alimentaires peuvent contenir des substances dopantes et/ou dangereuses et donc être à risque pour le consommateur.

Cette étude a pour but d'établir et de prodiguer différents conseils nutritionnels destinés aux pratiquants de sports de force selon leurs objectifs et d'orienter ces derniers dans leurs choix de compléments alimentaires. Les professionnels de santé comme le pharmacien d'officine se doivent également de prévenir et d'informer le sportif du risque de dopage possible au travers des compléments alimentaires et des médicaments disponibles en pharmacie.

MOTS CLES

Sportifs

Musculation

Nutrition

Compléments alimentaires

Dopage

JURY

Dr. GOUDABLE Joëlle, Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Dr. CARTIER Jérôme – Pharmacien titulaire en Officine

Dr. ASSENDAL Abdallah – Pharmacien adjoint en Officine

Dr. HACHICHI Ruchdi – Médecin Généraliste et Médecin du Sport

DATE DE SOUTENANCE

Mercredi 27juin 2018

ADRESSE DE L'AUTEUR

33 route de Paris - 03460 Villeneuve sur Allier