

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة سعيدة - د. مولاي الطاهر
Université de Saida - Dr. MOULAY Tahar



كلية العلوم الطبيعية والحياة
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
قسم البيولوجيا
Département de Biologie

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en biologie

Spécialité : Biochimie

Thème

Étude Bibliographique de la Production des Compléments Alimentaires destinés aux Sportifs

Un projet soumis en partie pour répondre aux exigences Pour le diplôme de Master en Sciences Biologiques - Diplôme Startup, dans le cadre de la résolution ministérielle 12-75.

Présenté par :

Melle. Maata Maroua

Mr. Tahraoui Lahcen

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

Président	Pr. Kahloula Khaled	Université de Saida - Dr. Moulay Tahar
Examineur	Dr. Bellil Yahia	Université de Saida - Dr. Moulay Tahar
Examineur	Pr. Benzai Yassine	Université de Saida - Dr. Moulay Tahar (Incubateur)
Examineur	Pr. Djellouli Nassima	Université de Saida - Dr. Moulay Tahar (CATI)
Examineur	Mr. Amine Amour	Direction de la Jeunesse et des Sports - Saida
Rapporteur	Pr. ZIANI Kaddour	Université de Saida - Dr. Moulay Tahar
Co-rapporteur	Dr. Halla Noureddine	Université de Saida - Dr. Moulay Tahar

Année Universitaire 2023/2024

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة سعيدة - د. مولاي الطاهر
Université de Saida - Dr. MOULAY Tahar



كلية العلوم الطبيعية والحياة
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
قسم البيولوجيا
Département de Biologie

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en biologie

Spécialité : Biochimie

Étude Bibliographique de la Production des Compléments Alimentaires destinés aux Sportifs

Un projet soumis en partie pour répondre aux exigences Pour le diplôme de Master en Sciences Biologiques - Diplôme Startup, dans le cadre de la résolution ministérielle 12-75.

Présenté par :

Melle. Maata Maroua

Mr. Tahraoui Lahcen

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

Président	Pr. Kahloula Khaled	Université de Saida - Dr. Moulay Tahar
Examineur	Dr. Bellil Yahia	Université de Saida - Dr. Moulay Tahar
Examineur	Pr. Benzai Yassine	Université de Saida - Dr. Moulay Tahar (Incubateur)
Examineur	Pr. Djellouli Nassima	Université de Saida - Dr. Moulay Tahar (CATI)
Examineur	Mr. Amine Amour	Direction de la Jeunesse et des Sports - Saida
Rapporteur	Pr. ZIANI Kaddour	Université de Saida - Dr. Moulay Tahar
Co-rapporteur	Dr. Halla Noureddine	Université de Saida - Dr. Moulay Tahar

Année Universitaire 2023/2024

Dédicaces

Nous dédions ce modeste travail :

À nos chers parents,

À nos chers frères et sœurs,

À tous nos professeurs,

À tous nos amis et collègues,

Et à tous ceux que nous aimons.

Remerciements

Nous levons nos mains pour remercier Dieu, avant tout, de nous avoir accordé le succès dans chaque étape que nous avons franchie pour accomplir ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à nos encadrants, Mr. Ziani et Mr. Halla, pour tous leurs efforts et leur temps précieux. Ce fut un grand honneur pour nous de travailler avec eux.

Nous remercions également Mr. Benzai, le directeur de l'incubateur, qui nous a mis à disposition un lieu de travail approprié et nous a apporté tous les conseils et orientations dont nous avons besoin.

Nos remerciements s'adressent également aux membres de jury et à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin jusqu'à ce que ce travail voie le jour.

Enfin, nous n'oublions pas de remercier infiniment nos familles, nos mains et nos frères qui nous ont soutenus et remonté notre moral à chaque fois que nous nous sentions frustrés et échoués.

Liste des abréviations

ACTH:	Hormone adrénocorticotrope
ADN:	Acide désoxyribonucléique
AMA :	Agence mondiale antidopage
ANR :	Apport nutritionnel recommandé
ANSES :	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ARNm:	Acide ribonucléique messenger
ATP:	Adénosineadénosine triphosphate
BCAA:	Acides aminés à chaîne ramifiée
CE:	Commission européenne
DE:	Equivalent dextrose
DHA:	Acide docosahexaénoïque
DHEA:	Déhydroépiandrostérone
DOMS:	Douleurs musculaires à apparition retardée
DS:	Solide sec
DSHEA:	Dietary Supplement Health and Education Act
EGF:	Facteur de croissance épidermique
FDA:	Food and Drug Administration
FGF:	Facteurs de croissance des fibroblastes
GH:	Hormone de croissance
HBM:	β -hydroxy- β -méthylbutyrate
HCl:	Chlorure d'hydrogène
H₂SO₄:	Acide sulfurique
IgA:	Immunoglobines de classe A
IgF:	Immunoglobines de classe F
IgG:	Immunoglobines de classe G
IgM:	Immunoglobines de classe M
Ile:	Isoleucine
INCO:	Information du consommateur sur les denrées alimentaires

La -:	Lactate
Leu:	Leucine
MCT:	Triglycérides à chaîne moyenne
MF:	Microfiltration
MPC:	Concentrés de protéines du lait
MPI:	Isolats de protéines du lait
NF:	Nanofiltration
NFDM:	Lait en poudre écrémé
NMC:	Caséine micellaire native
NO:	Oxyde nitrique
NO³⁻:	Nitrate
PC :	Poids corporel
PDGF:	Facteur de croissance dérivé des plaquettes
pH:	Potentiel Hydrogène
RO:	Osmose inverse
ROS:	Espèces réactives de l'oxygène
TgA:	Facteur de croissance transformant A
TgB:	Facteur de croissance transformant B
UF:	Ultrafiltration
USDEC:	United States Dairy Export Council
Val:	Valine
VO₂:	Consommation d'oxygène par l'organisme
WPC:	Concentrés de protéine de lactosérum
WPI:	Isolats de protéine de lactosérum

Liste des tableaux

Tableau 1 : Catégorisation des compléments alimentaires destinés aux sportifs	4
Tableau 2 : Classification nutritionnelle des Acide aminés.....	5
Tableau 3 : Facteurs immunologiques et de croissance du colostrum bovin	10
Tableau 4 : Concentrations approximatives de protéines dans le lactosérum	11
Tableau 5 : Le pourcentage approximatif de protéines pour un œuf entier, une coquille d'œuf, de l'albumen et du jaune	12
Tableau 6 : Principaux glucides alimentaires	14
Tableau 7 : Fonctions biologiques de certaines vitamines en référence à l'exercice	19
Tableau 8 : Fonctions liées à l'exercice de certains minéraux	21
Tableau 9 : Composition approximative de concentrés de protéines de lactosérum (WPC) commercialisés contenant 34 %,60 % et 90 % de protéines totales et d'isolat de protéines de lactosérum (WPI)	31
Tableau 10 : Le pourcentage des protéines de divers produits du lait	34
Tableau 11 : Utilisation des suppléments pour un échantillon de sportifs algériens	42
Tableau 12 : Résumé des directives pratiques concernant les doses recommandées, le timing et la durée de prise des suppléments sportifs.....	43
Tableau 13 : Apport nutritionnel recommandé (ANR) et limite supérieure tolérable pour certaines vitamines et minéraux	44
Tableau 14 : Bienfaits potentiels de certains compléments alimentaires.....	46
Tableau 15 : Les effets indésirables de quelques compléments alimentaires	52

Liste des figures

Figure 1 : Acides aminés à chaîne ramifiée	6
Figure 2 : Représentation graphique originale de la section efficace des micelles de caséine.....	10
Figure 3 : Séparation par filtration. Les particules plus petites que la taille des pores de la membrane pénètrent, tandis que les plus grosses particules sont retenues.....	31
Figure 4 : Filtration perpendiculaire ou transversale.....	32
Figure 5 : Spectre de filtration et taille des principaux composants du lait.....	33
Figure 6 : Schéma de l'extraction des caséines micellaires natives et des protéines de lactosérum	35
Figure 7 : Synthèse industrielle de créatine-monohydrate	37
Figure 8 : Représentation schématique du processus de conversion de l'amidon en maltodextrine	38

Résumé

La production des compléments alimentaires destinés aux sportifs implique la fabrication et la distribution de produits conçus pour répondre aux besoins nutritionnels spécifiques des personnes engagées dans une activité sportive régulière ou intense. Ces compléments sont élaborés pour améliorer les performances, favoriser la récupération et soutenir la santé globale des sportifs. Cette synthèse bibliographique offre une compréhension approfondie de l'importance de l'équilibre nutritionnel dans la performance sportive et met en évidence les différentes étapes de la production de ces compléments alimentaires. Le processus de production de ces compléments passe par un ensemble des étapes dont la sélection des ingrédients, la formulation et le dosage représentent les étapes clés. Les protéines de lactosérum, BCAA (Branched Chain Amino Acids), créatine, magnésium et beta-alanine sont les compléments les plus utilisés, et si certains d'entre eux peuvent apporter de réels bénéfices, beaucoup d'entre eux constituent une menace majeure pour la santé du sportif et parfois pour sa carrière professionnelle s'il est prouvé que ce complément contient des substances stimulantes interdites par l'Autorité Mondiale Antidopage. Même si certains pays adoptent une législation stricte pour réglementer cette industrie, de nombreux pays ont encore besoin de davantage de réglementation et de contrôle.

Mots clés : Complément alimentaire, Minéraux, Performance, Protéines, Sport.

Abstract

Sports nutrition involves manufacturing and selling products designed to meet the specific nutritional needs of people who participate in regular or intense athletic activities. These supplements are designed to enhance performance, promote recovery, and support the overall health of athletes. This literature review provides an in-depth understanding of the importance of nutritional balance in athletic performance and highlights the various stages in producing these supplements. The manufacturing process for these supplements involves several steps, with ingredient selection, formulation, and dosage being the key stages. Whey proteins, BCAAs (Branched Chain Amino Acids), creatine, magnesium, and beta-alanine are the most used supplements. While some of them can provide real benefits, many of them pose a significant threat to the athlete's health, and sometimes to his or her professional career, if the supplement is found to contain stimulants banned by the World Anti-Doping Agency. Although some countries are adopting strict legislation to regulate this industry, many countries still need more regulation and control.

Keywords: Dietary supplements, minerals, performance, protein, sports.

ملخص

تتضمن التغذية الرياضية تصنيع وبيع المنتجات المصممة لتلبية الاحتياجات الغذائية المحددة للأشخاص الذين يشاركون في أنشطة رياضية منتظمة أو مكثفة. تم تصميم هذه المكملات لتعزيز الأداء، وتعزيز الانتعاش، ودعم الصحة العامة للرياضيين. توفر بعض المراجع فهما متعمقا لأهمية التوازن الغذائي في الأداء الرياضي وتسلسل الضوء على المراحل المختلفة في إنتاج هذه المكملات. تتضمن عملية تصنيع هذه المكملات عدة خطوات، مما يجعل اختيار المكونات والجرعة المستعملة من أهم المراحل الرئيسية. تعد بروتينات مصبل اللبن، BCAAs (الأحماض الأمينية متفرعة السلسلة)، الكرياتين، المغنيسيوم، والألانين هي المكملات الغذائية الأكثر استخداما. في حين أن بعضها يمكن أن يوفر فوائد حقيقية، فإن العديد منها يشكل تهديدا كبيرا لصحة الرياضي، وأحيانا لمسيرته المهنية، إذا وجد أن المكمل يحتوي على منشطات محظورة من قبل الوكالة العالمية لمكافحة المنشطات. على الرغم من أن بعض البلدان تعتمد تشريعات صارمة لتنظيم هذه الصناعة، إلا أن العديد من البلدان لا تزال بحاجة إلى مزيد من التنظيم والتحكم.

الكلمات المفتاحية: المكملات الغذائية، المعادن، الأداء، البروتين، الرياضة.

Tables des Matières

DÉDICACES	III
REMERCIEMENTS	IV
LISTE DES ABRÉVIATIONS	V
LISTE DES TABLEAUX	VII
LISTE DES FIGURES	VIII
RÉSUMÉ	IX
ABSTRACT	X
ملخص	XI
TABLES DES MATIÈRES	XII
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITÉS SUR LES COMPLÉMENTS ALIMENTAIRES DESTINÉ AUX SPORTIFS	3
I.1. Composition générale	4
I.1.1. Aminoacides et ces dérivés	5
I.1.2. Protéines	8
I.1.3. Carbohydrates	13
I.1.4. Lipides	16
I.1.5. Vitamines	18
I.1.6. Minéraux	20
I.1.7. Extraits de plantes	22
CHAPITRE 2 : PRODUCTION INDUSTRIELLE DES COMPLÉMENTS ALIMENTAIRES	24
Partie II	24
II.1. L'industrie croissante des compléments sportifs	24
II.2. Classification des compléments sportifs	25
II.2.1. Classification selon la fonction	25
II.2.2. Classification selon la nature	29
II.2.3. Classification selon le type	29

II.2.4. Classification selon la forme	29
II.2.5. Classification selon le timing	29
II.2.6. Classification selon les utilisateurs finaux.....	30
II.2.7. Classification selon les canaux de distribution	30
II.3. Synthèse des compléments sportifs	30
II.3.1. Synthèse des compléments protéinés.....	30
CHAPITRE 3 : AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE L'UTILISATION DES COMPLÉMENTS ALIMENTAIRES DESTINÉS AUX SPORTIFS À LA LUMIÈRE DES RÉGLEMENTATIONS NATIONALES ET INTERNATIONALES	39
Partie III.	39
III.1. L'utilisation des compléments alimentaires destinés aux sportifs.....	39
III.1.1. Les motivations pour utiliser les compléments sportifs	39
.///.1.2 L'utilisation selon l'âge	40
III.1.3. L'utilisation selon le sexe	40
III.1.4. L'utilisation selon le type de consommateurs	41
III.1.5. L'utilisation en Algérie.....	41
III.2. Recommandations	42
III.3. Bienfaits des compléments destinés aux sportifs	45
III.4. Problèmes liés à l'utilisation des compléments sportifs.....	48
III.4.1. Cout élevé	48
III.4.2. Faibles réglementations et violations des fabricants	49
III.4.3. Piège du dopage	50
III.4.4. Déplacement des vraies priorités.....	51

III.4.5. Effets indésirables.....	52
III.5. Législation.....	53
III.5.1. Législation aux États-Unis.....	54
III.5.2. Législation européenne.....	54
III.5.3. Législation en Algérie.....	55
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	57
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	58

Introduction Générale

L'alimentation est intimement liée à la santé, et les gens sont certainement conscients de la nécessité d'avoir une alimentation appropriée pour être en bonne santé (**Chamberlain, 2004**). Une bonne alimentation peut contribuer à réduire le risque de certaines maladies, notamment les maladies coronariennes, l'hypertension artérielle, le cancer, le diabète, l'obésité, les fractures osseuses et les maladies dentaires (**WHO (World Health Organization), 2003**). Pour les athlètes, un certain nombre de facteurs contribuent à la réussite sportive, et l'alimentation en est un élément clé (**Beck et al., 2015**). Les nutriments jouent un rôle important dans la régulation des processus qui sous-tendent la performance sportive, allant de la production d'énergie à la fabrication de nouvelles cellules et protéines. Une carence franche d'un ou plusieurs de ces nutriments peut entraîner une altération mesurable des performances sportives (**Maughan et al., 2018**).

Le monde du sport regorge de produits prétendant prolonger l'endurance, améliorer la récupération, réduire la graisse corporelle, augmenter la masse musculaire, réduire le risque de maladie ou atteindre d'autres objectifs améliorant les performances sportives. Il est facile de comprendre pourquoi la promesse d'une performance améliorée est attrayante pour les athlètes et les entraîneurs dans les compétitions d'élite, où de petites différences séparent les vainqueurs du reste du peloton (**Hopkins et al., 1999**). Bien que la consommation de suppléments sportifs ne se limite pas aux athlètes d'élite, ces produits sont pour eux une « arme magique » qu'ils sont obligés d'utiliser même en l'absence de preuves solides soutenant le produit pour maintenir des « règles du jeu équitables » (**Burke et al., 2006**). En Algérie la popularité de ces compléments a commencé à augmenter considérablement et le gouvernement s'oriente vers l'interdiction de leur importation en raison de leur coût élevé estimé par 500 millions d'euros par an, ce qui pourrait ouvrir la voie aux entreprises locales pour développer cette industrie.

L'objectif de cette revue de la littérature est d'analyser la composition, la synthèse et les techniques de fabrication des compléments alimentaires destinés aux athlètes. En outre, nous étudions les avantages et les risques potentiels de ces substances émergentes, ainsi que les lois et réglementations régissant leur utilisation dans le domaine du sport.

Partie I : *Synthèse bibliographique*

Chapitre 1 : Généralités sur les compléments alimentaires destinés aux sportifs

Les compléments alimentaires comprennent une large gamme de produits destinés à être ingérés pour répondre aux besoins nutritionnels essentiels. Ces produits sont disponibles sous de nombreuses formes (comprimés, gélules, gélules de gélatine, gels mous, liquides, préparations à croquer et poudres) et peuvent fournir des composants individuels ou des combinaisons de vitamines, de minéraux, d'herbes, d'acides aminés, d'acides gras et d'autres composants alimentaires (**Rautiainen et al., 2016**). Les allégations marketing des compléments alimentaires incluent l'amélioration de l'état de santé global, l'amélioration des performances cognitives ou physiques, l'augmentation de l'énergie, la perte de poids excessif, l'atténuation de la douleur et d'autres effets bénéfiques (**Deldicque et Francaux, 2016**), néanmoins, son rôle lorsque la suffisance nutritionnelle a déjà été atteinte reste vigoureusement débattu, car des effets délétères potentiels d'un apport excessif ont été identifiés pour certains micronutriments (**Rautiainen et al., 2016**).

Les athlètes peuvent être exposés à un risque plus élevé de carences de nombreux micronutriments qui jouent un rôle important dans la régulation des processus qui sous-tendent la performance sportive, allant de la production d'énergie à la fabrication de nouvelles cellules et protéines, en raison d'un renouvellement accru des nutriments ou d'une augmentation des pertes. Une carence franche d'un ou plusieurs de ces nutriments peut entraîner une déficience mesurable des performances sportives, soit directement, soit en réduisant la capacité de l'athlète à s'entraîner efficacement (par exemple, anémie ferriprive à carence d'une carence du fer) ou à rester à l'abri de maladies ou de blessures (par exemple, impact de la carence en vitamine D sur la santé des os). Lorsqu'un état nutritionnel sous-optimal est diagnostiqué, l'utilisation d'un complément alimentaire pour inverser ou prévenir d'autres carences peut contribuer au plan de traitement global (**Maughan et al., 2018**).

Les compléments alimentaires destinés aux sportifs peuvent être divisés en 3 catégories : les aliments sportifs (aliments/boissons contenant des macronutriments), les compléments médicaux (vitamines/minéraux utilisés pour

traiter les carences) et les compléments ergogènes (utilisés pour améliorer la performance) (Edenfield, 2020).

Tableau 1 : Catégorisation des compléments alimentaires destinés aux sportifs (Garthe et Maughan, 2017)

Catégorie	Définition	Exemple	Risque potentiel
Aliments sportifs	Produits spécialisés utilisés pour fournir une source pratique de nutriments lorsqu'il est impossible de consommer des aliments de tous les jours	Boisson sportive, gel sportif, repas liquide, confiserie sportive, barre sportive	La plupart des aliments pour sportifs, mais pas tous, présentent un faible risque de contamination par des substances interdites.
Compléments médicaux	Utilisé pour traiter les problèmes cliniques, y compris les carences nutritionnelles diagnostiquées	Fer, calcium, multivitaminés/ minéraux, vitamine D, probiotiques (intestin/immunité)	La plupart, mais pas tous, des suppléments de vitamines et de minéraux achetés en pharmacie sont produits sous un contrôle pharmaceutique strict.
Compléments ergogènes	Suppléments destinés à améliorer les performances	Caféine, β -alanine, bicarbonate, nitrate, créatine, glycérol	Il existe un risque de contamination croisée avec des substances interdites ou nocives et de falsification délibérée par l'ajout d'agents pharmaceutiques.

I.1. Composition générale

La composition d'un complément alimentaire destiné aux sportifs comprend principalement des nutriments (protéine, glucides, acide gras, acides aminés, vitamines, minéraux, oligoéléments), des plants ou extraies des plantes, des additifs, des arômes etc. Les substances chimiques utilisées comme source de vitamine, de minéraux, d'arômes et d'additifs doivent être sans danger et strictement réglementées.

I.1.1. Aminoacides et ces dérivés

Les acides aminés sont des éléments constitutifs des protéines. Plus de 300 acides aminés ont été décrits, mais seuls 20 acides aminés participent à la synthèse des protéines. Les acides aminés contiennent un groupe amine et un groupe carboxylique et sont classés en acides aminés acides, basiques et neutres (**Akram et al., 2011**). Certains acides aminés ne sont pas synthétisés dans l'organisme et il est nécessaire de les prendre dans le cadre d'un régime. Ces types d'acides aminés sont appelés acides aminés essentiels. Certains acides aminés sont synthétisés dans le corps et il n'est pas nécessaire de les prendre dans le cadre d'un régime alimentaire. Ce type d'acides aminés est appelé acide aminé non essentiel. Certains acides aminés sont synthétisés dans l'organisme mais leur production est insuffisante. Ces types d'acides aminés sont appelés acides aminés semi-essentiels (**Hellwinkel, 2001**).

Tableau 2 : Classification nutritionnelle des Acide aminés (**Bier et al., 2014**)

AA essentiels	AA non-essentiels	AA semi-essentiels
Valine		Arginine
Leucine		Asparagine
Isoleucine	Acide aspartique	Cystéine
Phénylalanine	Acide glutamine	Glutamine
Thréonine	Alanine	Glycine
Méthionine		Proline
Lysine		Sérine
Tryptophane		Tyrosine
Histidine		

Les acides aminés sont utilisés dans la formation des protéines, ils contribuent à la formation des protéines tissulaires, des enzymes, la mélanine, les hormones comme l'insuline, l'hormone de croissance et le glucagon. L'adrénaline, la noradrénaline et la thyroxine sont constituées d'un seul acide aminé. Le glutathion, un peptide physiologiquement actif, est également constitué d'acides aminés (**Akram et al., 2011**). Les acides aminés jouent un rôle majeur dans la régulation de multiples processus liés à l'expression des gènes, notamment la modulation de la fonction des protéines qui assurent la traduction de l'ARN messager (ARNm) (**Scot et al., 2006**). Certains acides aminés sont impliqués dans le système immunitaire au niveau du

couple antigène/anticorps. Un rôle moins connu des acides aminés est énergétique. Ces derniers sont capables de fournir 4 kcals par gramme, ce qui est une source énergétique non négligeable, mais qui sera utilisée uniquement en cas de déficit du système glucidique **(ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail), 2016)**.

Pour les athlètes, on pense que les acides aminés améliorent les performances de plusieurs manières, notamment en augmentant la sécrétion d'hormones anabolisantes, en modulant la consommation de carburant pendant l'exercice, en prévenant les effets nocifs du surentraînement et en prévenant la fatigue mentale **(Williams, 2022)**. Parmi les acides aminés les plus consommés par les sportifs on trouve :

I.1.1.1. Acides aminés à chaîne ramifiée (BCAA)

Les BCAA (Branched Chain Amino Acids), substrats énergétiques oxydés dans le muscle, regroupent trois acides aminés essentiels : la valine, la leucine et l'isoleucine. Ils sont directement absorbés au niveau musculaire, sans subir de métabolisme hépatique **(Clark, 2015)**. Ensemble, les BCAA représentent environ 18 % des acides aminés et 63 % des acides aminés hydrophobes présents dans les protéines de nombreuses formes de vie **(Moura et al. 2013)**. En tant qu'acides aminés essentiels les plus abondants, les BCAA ne sont pas seulement des substrats pour la synthèse des composés azotés, ils servent également de molécules de signalisation régulant le métabolisme de la synthèse du glucose, des lipides et des protéines, la santé intestinale et l'immunité via un mécanisme spécial **(Nie et al., 2018)**. Les BCAA sont souvent conseillés chez le sportif puisqu'ils constituent des sources d'énergie pour les muscles. De plus, la leucine stimule la synthèse des protéines au niveau musculaire **(Deloy, 2017)**.

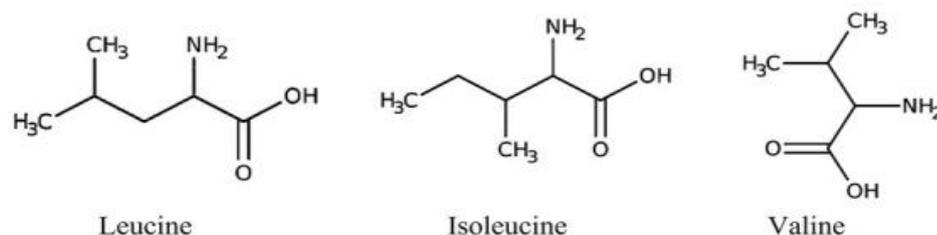


Figure 1 : Acides aminés à chaîne ramifiée (Kim et al., 2022)

I.1.1.2. Glutamine

La glutamine est l'acide aminé libre le plus abondant dans les muscles et le plasma humains (**Burke et al., 2006**). Il est à la fois apporté par l'alimentation et synthétisé de manière endogène par les muscles squelettiques. Il s'agit d'un précurseur de l'ornithine et donc de l'arginine et de la créatine (**Deloy, 2017**).

La glutamine est un carburant pour les cellules à division rapide et a été considérée comme « essentielle sous certaines conditions » en période de stress métabolique ou de maladie (**Buchman, 2015**). Au-delà des rôles énergétique et musculaire pour lesquels la glutamine peut être proposée chez le sportif, la lutte contre le surentraînement est également prétexte à la supplémentation en glutamine (**Deloy, 2017**).

I.1.1.3. Créatine

La créatine (c'est-à-dire l'acide méthylguanidoacétique) est un composé azoté non protéique présent principalement dans les muscles squelettiques (95 %), mais également dans le cœur, le cerveau et d'autres tissus (**Williams et Branch, 1988**). Cet acide est transformé dans le muscle en phosphocréatine, ce qui fournit de l'énergie pour des efforts brefs et intenses. Elle est produite par le foie et les reins à partir de trois acides aminés (arginine, glycine et méthionine), mais également apportée par l'alimentation (**Cornillier et al., 2008**). Ces dernières années, la créatine a été synthétisée, principalement sous forme de monohydrate de créatine, et commercialisée auprès des athlètes de tous niveaux (**Williams, 2006**).

I.1.1.4. Bêta-alanine

La bêta-alanine est un acide aminé non essentiel produit de manière endogène dans le foie et constitue le facteur limitant la synthèse intramusculaire de la carnosine (**Edenfield, 2020**). La carnosine (c'est-à-dire la β -alanyl-L-hystidine) est présente en abondance dans le muscle squelettique et est impliquée dans la régulation du pH intramusculaire, la régulation du calcium du réticulum sarcoplasmique, la régulation des enzymes et les activités antioxydantes (**Naderi et al., 2016**).

I.1.1.5. β -hydroxy- β -méthylbutyrate (HMB)

Le β -hydroxy- β -méthylbutyrate (HMB), un métabolite de l'acide aminé leucine (**Burke *et al.*, 2006**). Les mécanismes potentiels sous-jacents aux effets anticataboliques du HBM comprennent une diminution de la dégradation des protéines, une synthèse accrue du cholestérol, une augmentation de l'hormone de croissance et l'ARNm de l'IGF I, une prolifération et une différenciation accrues des cellules satellites et une inhibition de l'apoptose (**Szczesniak *et al.*, 2015**). Cependant, ces avantages potentiels peuvent être tout aussi facilement obtenus avec l'ingestion de leucine ou de protéines de lactosérum (**Wilkinson *et al.*, 2013**). Les suppléments de HMB ont été introduits pour la première fois sur le marché du sport au milieu des années 1990 et, en 1998 (**Slater & Jenkins, 2000**), le HMB est actuellement commercialisé sous le nom de calcium-HMB-monohydrate (**Williams, 2022**).

I.1.1.6. La carnitine

La carnitine (L-3-hydroxytriméthylaminobutanoate) est un composé naturel qui peut être synthétisé chez les mammifères à partir des acides aminés essentiels (lysine et méthionine) (**Bremer, 1983**) ou ingéré par l'alimentation. Cependant, des suppléments produits dans le commerce sont également disponibles et se sont révélés sans danger pour les humains (**Rubin *et al.*, 2001**).

L-Carnitine est une aide ergogène utilisée dans le domaine de la nutrition sportive pour améliorer les performances physiques car elle réduit le stress oxydatif en atténuant les ROS et en accélérant l'activité antioxydante endogène (**Sung, 2016**). Ainsi, il joue un rôle important dans la bioénergétique des muscles squelettiques. La carence en carnitine des muscles squelettiques est associée à une altération profonde de la fonction musculaire (**Brass, 2009**).

I.1.2. Protéines

Le mot protéine a été inventé par Jons J. Berzelius en 1838 et est dérivé du mot grec proteios qui fait référence au fait d'être « du premier rang ». Les protéines sont des polymères d'acides aminés reliés de manière covalente par une liaison amide substituée appelée liaison peptidique. Il existe 20 acides aminés différents qui composent les protéines alimentaires (**Ustunol, 2014**). Les protéines peuvent être

classées en basant sur leurs fonctions en: protéines catalytiques, par ex. enzymes ; structurelles, par ex. collagène, élastine ; contractiles, par ex. myosine, actine ; Transporteuses, par ex. hémoglobine, myoglobine, albumin, transferrine ; hormones régulatrices, par ex. ACTH, insuline, hormone de croissance ; génétiques, par ex. histones ; et protectrices, par ex. immunoglobulines, interférons, facteurs de coagulation **(Vasudevan et al., 2013)**.

Traditionnellement, les sources de protéines alimentaires sont considérées comme étant d'origine animale ou végétale. En règle générale, toutes les sources alimentaires de protéines animales sont considérées comme des protéines complètes. C'est-à-dire une protéine qui contient tous les acides aminés essentiels. Les protéines d'origine végétale sont incomplètes dans la mesure où il leur manque généralement un ou deux acides aminés essentiels **(Hoffman et Flavo, 2004)**.

L'utilisation d'une supplémentation en protéines peut être bénéfique au moment de l'exercice physique pour maintenir la préservation de la masse musculaire et éviter la protéolyse **(Pitkanen et al. 2003 ; Tang et al. 2007)**. Souvent, les athlètes obtiennent leurs besoins en protéines de sources animales, tandis que les athlètes végétariens se tournent vers des sources végétales pour répondre à ces besoins.

I.1.2.1. Protéines d'origine animales

a. Protéines de colostrum bovin

Le colostrum bovin (lait précoce) est le lait initial produit par les vaches, généralement obtenu dans les 48 heures suivant l'accouchement. Comme le lait « normal », il contient une riche source de nutrition, à la fois en termes de macronutriments et de micronutriments, mais est également abondant en composants bioactifs, notamment en facteurs immunitaires, de croissance et antimicrobiens **(McGrath et al., 2016 ; Playford et Weiser, 2021)**. La présence simultanée de facteurs de croissance, d'immunoglobulines, de cytokines, de lactoferrine, de lysozyme et d'hormone de croissance peut améliorer le fonctionnement des systèmes immunitaire et neuroendocrinien ainsi que l'intégrité du tractus gastro-intestinal, qui peut être altéré suite à des efforts physiques intenses **(Shing et al., 2009)**.

Tableau 3 : Facteurs immunologiques et de croissance du colostrum bovin (Godhia et Patel, 2013 ; Bagwe et al., 2015)

Facteurs immunologiques	Facteurs de croissance
IgG1; IgG2; IgA; IgM	facteur de croissance épithéliale (EGF)
Lactoferrine	facteur de croissance analogue à l'insuline (IGF-I, IGF-II)
Polypeptides riches en proline	facteur de croissance des fibroblastes (FgF)
cytokine	facteur de croissance dérivé des plaquettes (PDGF)
lysozyme, trypsine	facteur de croissance transformant (TgA, TgB)
	hormone de croissance (GH)

b. Protéines de caséine

Les caséines sont une famille de phosphoprotéines insolubles et représentent 80 % des protéines totales du lait de vache (Artym et Zimecki, 2013 ; Pereira, 2014). La caséine comprend quatre peptides : α S1, α S2, β et κ , différents par leur teneur en acides aminés, en phosphore et en glucides mais similaires par leur caractère amphiphile. Cette protéine existe dans le lait sous forme de micelle, qui est une grosse particule colloïdale. Une propriété intéressante cette micelle est sa capacité à former un gel ou un caillot dans l'estomac. La capacité de former ce caillot le rend très efficace dans l'apport de nutriments. Le caillot est capable de fournir une libération lente et soutenue d'acides aminés dans la circulation sanguine, durant parfois plusieurs heures (Boirie et al. 1997). Cela permet une meilleure rétention et utilisation de l'azote par l'organisme (Hoffman et Flavo, 2004).

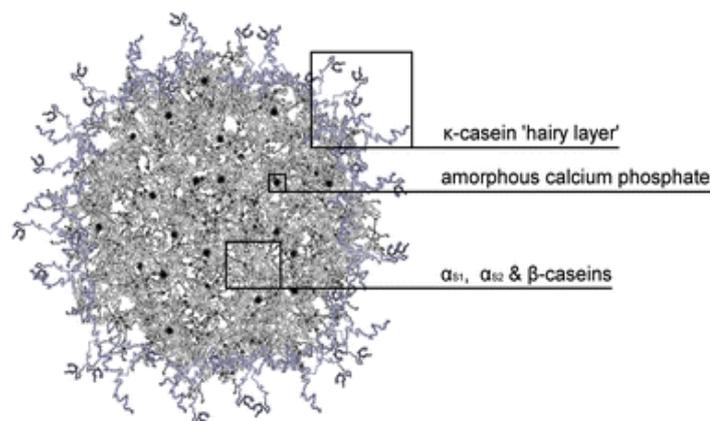


Figure 2 : Représentation graphique originale de la section efficace des micelles de caséine (de Kruif et Holt, 2003)

c. Protéines de Lactosérum

Les protéines de lactosérum (ou sérum) sont le groupe de protéines de lait qui restent solubles après précipitation des caséines par l'acide (à pH 4,6 et 30 °C). Le lait contient environ 0,6 à 0,7% de protéines de lactosérum, qui représentent ~20% des protéines de lait total. Les protéines de lactosérum sont considérablement supérieures aux protéines végétales et sont considérées comme l'une des protéines de la plus haute qualité dans l'industrie alimentaire. Les protéines de lactosérum contiennent des niveaux plus élevés d'acides aminés à chaîne ramifiée (BCAA, c'est-à-dire Leu, Ile et Val) que les caséines **(Ustunol, 2014)**.

Tableau 4 : Concentrations approximatives de protéines dans le lactosérum **(Ustunol, 2014)**.

Composants du Lactosérum	Quantité (mg/L de lait)
β-lactoglobuline	3.2
α-Lactalbumine	1.2
Glycomacropeptide	1.2
Peptone protéose	1.1
Immunoglobuline G	0.7
Albumine sérique	0.4
Lactoferrine	0.06
Immunoglobuline A	0.04
Immunoglobuline M	0.04
Lactopéroxydase	0.03
Lysozyme	0.0004

d. Protéines des œufs

Les protéines des œufs sont bien connues pour leurs propriétés fonctionnelles et sont massivement utilisées comme ingrédient pour rehausser la texture ou la saveur de divers produits alimentaires. De plus, les protéines d'œuf sont également une source potentielle de protéines et de peptides bioactifs **(Guha et al., 2018)**. Les protéines du blanc d'œuf jouent un rôle alimentaire important en raison de leur haute valeur biologique **(Ustunol, 2014)**. Le blanc d'œuf contient plus de 40 protéines différentes, dont certaines ne sont pas encore caractérisées ; cependant, les principales protéines de l'albumen d'œuf comprennent l'ovalbumine (54 % de la

matière sèche), l'ovotransferrine (ou conalbumine) (12 à 13 %), l'ovomucoïde (11 %), le lysozyme (3,4 à 3,5 %), les ovoglobulines G2 et G3 (2 %) et l'ovomucine (1,5 à 3 %). D'autres protéines du blanc d'œuf, notamment l'ovostatine, les ovoflavoprotéines, l'avidine, ainsi que des enzymes (α -mannosidase, β -galactosidase, β -glucuronidase, β -N-acétylglucosaminidase, catalase, mono- et diphosphoestérases, peptidases et α -amylase) (**Li-Chan et Nakai, 1989**).

Tableau 5 : Le pourcentage approximatif de protéines pour un œuf entier, une coquille d'œuf, de l'albumen et du jaune (**Li-Chan and Kim, 2008**)

Composants de l'œuf	% Protéines
Œuf entier (100 %)	12.8–13.4
Coquille d'œuf (9 à 11 %)	6.2–6.4
Albumine (60 à 63 %)	9.7–10.6
Jaune d'œuf (28-29%)	15.7–16.6

I.1.2.2. Protéines d'origine végétales

a. Protéine de soja

Les protéines de soja sont l'une des protéines d'oléagineuse les plus consommées au monde. Bien que la protéine de soja soit supérieure aux autres protéines végétales, sa qualité nutritionnelle n'est pas totalement équivalente à celle des protéines animales (**Ustunol, 2014**). Les protéines de soja sont principalement constituées de globulines ; composé de deux sous-groupes appelés glycinine et β -conglycinine (**Manjaya et al., 2007**). Les aliments à base de protéines de soja, comme le lactosérum, comportent 3 sous-catégories : la farine de soja, le concentré de soja et l'isolat de soja. L'isolat de soja possède la plus grande concentration de protéines par rapport aux concentrés et à la farine. La qualité du soja en fait une alternative très intéressante pour ceux qui recherchent des sources de protéines non animales dans leur alimentation et pour ceux qui sont intolérants au lactose (**Hoffman et Falvo, 2004**).

b. Protéines d'avoine

Au cours des dernières décennies, l'intérêt pour l'avoine (*Avena sativa L.*) en tant qu'aliment sain a augmenté en raison de ses multiples composants fonctionnels et

bioactifs tels que les fibres alimentaires, les polyphénols et les protéines. L'avoine a une teneur relativement élevée en protéines et une meilleure qualité protéique en termes de composition en acides aminés, par rapport aux autres céréales. La portion de protéines d'avoine peut être divisée en quatre subdivisions, dont la globuline (principale portion de stockage 50 à 80 %), les prolamines (avénines 4 à 15 %), l'albumine (1 à 12 %) et la glutéline (10 %) (**Boukid, 2021**). La protéine d'avoine peut être tolérée par la plupart des personnes cœliaques, ce qui en fait une matière première intéressante pour le marché sans gluten en constante expansion (**Makinen et al., 2017**).

c. Protéines du Pois

Le pois (*Pisum sativum L.*) est une légumineuse diploïde ($2n = 14$) dotée d'un génome relativement volumineux (4,45 Gb) (**Kreplak et al., 2019**). Le pois de grande culture est essentiel à la production de protéines végétales qui peuvent compléter ou remplacer les protéines animales (**Daba et Morris, 2022**). Les pois contiennent 20 à 30 % de protéines, dont 65 à 80 % sont constitués de globulines et 10 à 20 % d'albumines (**Karaca et al., 2011**). Grâce à sa disponibilité, son faible coût, ses valeurs nutritionnelles et ses bienfaits pour la santé, la protéine de pois peut être utilisée comme une alternative nouvelle et efficace pour remplacer les protéines de soja ou animales dans les applications alimentaires fonctionnelles (**Lu et al., 2020**)

I.1.3. Carbohydrates

Les glucides ou hydrates de carbone constituent la source d'énergie alimentaire la plus importante au monde. Les racines féculentes, les légumineuses, les autres légumes, les fruits et le sucre contribuent tous, à des degrés divers, à l'énergie dérivée des glucides, qui représente généralement entre 40 et 80 % de l'énergie alimentaire totale (**Bier et al., 2014**). Les glucides sont des molécules organiques composées de carbones, hydrogènes et oxygènes. Ce sont des polyalcools comportant une fonction aldéhydes ($-CHO$) et une fonction cétones ($-C=O$). Ils ont pour formule brute $(CH_2O)_n$ avec $n > 3$ (**Didier, 2019**).

Les glucides alimentaires sont constitués de mono-, di-, oligo- et polysaccharides, ces derniers étant composés d'amidon et de polysaccharides non amylacés. Les

polysaccharides sont définis comme ayant 10 résidus monomères ou plus. Les glucides de faible poids moléculaire, souvent appelés « sucres », sont constitués de mono-, di- et oligosaccharides, ces derniers ayant entre trois et neuf résidus monomères (Asp, 1996).

Tableau 6 : Principaux glucides alimentaires (Cummings et Stephen, 2007)

Classe (DP)	Sous-groupe	Principal components
Sucres (1-2)	Monosaccharides	Glucose, fructose, galactose
	Disaccharides	Saccharose, lactose, maltose, Tréhalose
	Polyols (alcools de sucre)	Sorbitol, mannitol, lactitol, xylitol, érythritol, isomalt, maltitol
Oligosaccharides (3-9) (chaîne courte les glucides)	Malto-oligosaccharides (a-glucanes)	Maltodextrines
	Non- a-glucan oligosaccharides	Raffinose, stachyose, fructo et les galacto-oligosaccharides, polydextrose, inuline
Polysaccharides (≥10)	Amidon (a-glucanes)	Amylose, amylopectine, amidons modifiés
	Polysaccharides non Amylacés	Cellulose, hémicellulose, pectine, arabinoxylanes, b-glucane, glucomannanes, gommes et mucilages végétaux, hydrocolloïdes

DP: Degré de polymérisation

Les carbohydrates jouent des rôles fondamentaux dans l'organisme dont le rôle énergétique : 40 à 50 % des calories apportées par l'alimentation humaine sont des glucides, et le rôle structural : éléments de soutien, de protection et de reconnaissance dans la cellule, éléments de réserve (glycogène), constituants de molécules fondamentales : acides nucléiques, coenzymes, vitamines, etc (Touitou, 2005). Pendant la digestion, le corps décompose les glucides en glucose, qui est ensuite utilisé comme énergie ou converti en glycogène et stocké dans les muscles et le foie pour répondre aux besoins énergétiques ultérieurs. Pendant l'exercice, le

glycogène stocké est reconverti en glucose et utilisé comme énergie (**Clifford et Maloney**), si les réserves de glycogène sont insuffisantes ou si les glucides ne sont pas consommés pendant l'exercice le catabolisme des protéines augmente (**Bier et al., 2014**). Les grands types de sucres fréquemment utilisés par les sportifs sont : le glucose, le fructose, le saccharose et le maltodextrine.

I.1.3.1. Glucose

Le D-glucose est très courant dans la nature. C'est le principal carburant du corps. La polymérisation du glucose conduit au glycogène (foie, muscles) (**Touitou, 2005**). Le corps peut générer environ 130 g des 180 g de glucose requis à partir de sources non glucidiques via la gluconéogenèse. L'utilisation obligatoire de glucose s'élève à environ 100 g par jour et l'utilisation de glycogène dans les exercices d'endurance peut atteindre 2 à 4 g/min. Un apport adéquat en glucides est donc essentiel, en particulier pour les personnes actives (**Bier et al., 2014**).

I.1.3.2. Fructose

Le fructose est un sucre simple dont la formule chimique ($C_6H_{12}O_6$) est similaire à celle du glucose. Le fructose diffère du glucose par la présence d'un groupe cétone attaché au carbone 2 de la molécule, tandis que le glucose présente un groupe aldéhyde au carbone (**Mayes, 1993**). Le fructose constitue le principal sucre présent dans les fruits et le miel. Le sucre de table (saccharose) est une autre source de fructose, car ce disaccharide est dégradé par la sucrase dans l'intestin en parts égales de glucose et de fructose (**Richard et Robert, 2010**).

Bien que le glucose soit un carburant métabolique important pendant l'exercice, son utilisation en complément présente des inconvénients : le principal facteur étant son influence stimulante sur la libération d'insuline qui stimule le stockage du glycogène. C'est pourquoi les chercheurs ont examiné l'utilisation d'alternatives comme aides diététiques à la performance. Le principal intérêt du fructose vient du fait qu'il ne stimule pas l'insuline au même degré que le glucose, qu'il reconstitue le glycogène hépatique plus rapidement que le glucose et qu'il augmente l'appétence du supplément (**Craig, 1993**).

I.1.3.3. Saccharose

Le saccharose ou « sucre de table » est un glucide largement connu et disponible et est un disaccharide composé de monomères de glucose et de fructose. En raison de ses monosaccharides composants, le saccharose pourrait être particulièrement adapté pour répondre à certains aspects des directives nutritionnelles en glucides destinées aux athlètes **(Wallis et Wittekind, 2013)**.

I.1.3.4. Maltodextrine

Les maltodextrines digestibles sont des polymères de saccharides peu sucrés constitués d'unités D-glucose liées principalement linéairement par des liaisons alpha-1,4, mais peuvent également avoir une structure ramifiée via des liaisons alpha-1,6 **(Hofman et al., 2016)**. Ils sont facilement solubles dans l'eau et rapidement absorbés par les intestins **(Lisnawati et al., 2023)**.

Les maltodextrines sont naturellement présentes dans les plantes en petites quantités seulement, mais peuvent être fabriquées à partir d'amidon par hydrolyse avec un acide, de la chaleur ou des enzymes **(Englyst et al., 2007)**. Les poudres commerciales obtenues, principalement blanches, sont d'une grande pureté et d'une grande sécurité microbiologique et sont utilisées dans une large gamme de produits alimentaires et de boissons, y compris les boissons pour sportifs **(Hofman, 2016)**.

I.1.4. Lipides

Les lipides sont des molécules organiques insolubles dans l'eau (lipos) et représentent environ 20 % du poids du corps **(Touitou, 2005)**. Ils contiennent du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène et contiennent souvent de longues chaînes d'hydrocarbures **(Kerksick, 2019)**. Les différentes classes de lipides : les triglycérides, les phospholipides, les sphingolipides et les esters de cholestérol **(ANSES, 2011)**.

Les acides gras sont les constituants de base de lipides, Ils existent sous différents types, le principal moyen de différenciation étant le degré de saturation trouvé au sein de la chaîne hydrocarbonée. Les acides gras entièrement saturés ne contiennent pas de doubles liaisons, et les acides gras monoinsaturés et polyinsaturés contiennent respectivement une ou plusieurs doubles liaisons **(Kerksick, 2019)**. une quatrième

catégorie, les gras *trans*, se forme lors de l'hydrogénation partielle des huiles végétales produites industriellement (par exemple les margarines) ou naturellement dans le bœuf, l'agneau et les produits laitiers **(Bajželj et al., 2021)**.

Deux acides gras polyinsaturés sont des facteurs nutritionnels essentiels car ils ne sont pas synthétisés par l'organisme et doivent lui être apportés par l'alimentation : l'acide alpha-linolénique, un acide gras oméga-3 et l'acide linoléique, un acide gras oméga-6 **(Meijaard et al., 2022)**.

Les acides gras alimentaires sont en majorité apportés sous forme de triglycérides. Après leur absorption au niveau de l'intestin, ils sont redistribués dans l'organisme. La partie qui n'est pas immédiatement utilisée est stockée par le tissu adipeux qui les libère en fonction des besoins ultérieurs, qu'ils soient énergétiques, structuraux ou fonctionnels **(Colette et Monnier, 2011)**. De plus, les lipides fournissent des acides gras essentiels et facilitent l'absorption des vitamines liposolubles (A, D, E et K) **(Bier et al., 2014)**.

Bien que la consommation de glucides lors d'un exercice prolongé soit importante pour fournir de l'énergie au muscle qui s'exerce, la graisse joue également un rôle énergétique en permettant aux athlètes d'effectuer des entraînements prolongés. Lors d'un exercice physique soutenu, l'épuisement des réserves de glucides du corps est un facteur majeur menant à l'épuisement. En fait, il a été constaté qu'une disponibilité accrue d'acides gras libres réduit le taux d'utilisation du glycogène pendant l'exercice et retarde l'apparition de l'épuisement. Plusieurs chercheurs ont découvert qu'un régime riche en graisses pouvait augmenter l'utilisation des acides gras pendant l'exercice **(Berning, 1996)**. Parmi les acides gras les plus utilisés comme complément pour les sportifs il y a les acides gras polyinsaturés Oméga-3 et les triglycérides à chaîne moyenne.

I.1.4.1. Oméga-3

Les acides gras polyinsaturés oméga-3 sont des acides gras essentiels. Ils se trouvent dans l'huile de poisson sous forme d'acide eicosapentaénoïque et d'acide docosahexaénoïque (DHA). L'acide alpha-linolénique est une source végétale d'acides gras oméga-3, mais n'a pas les mêmes bienfaits pour la santé que l'acide

eicosapentaénoïque et le DHA (**Edenfield, 2020**). Ces acides gras réparent et protègent les membranes cellulaires, augmentant la capacité de déformation des érythrocytes et retardant l'hémolyse, facilitant ainsi un meilleur transport de l'oxygène (**Ochi et Tsuchiya, 2018**). Dans les muscles, la supplémentation en acides gras oméga-3 peut augmenter la synthèse des protéines musculaires. Les effets anti-inflammatoires de l'apport en acides gras oméga-3 peuvent réduire les dommages musculaires ou améliorer la récupération après un exercice intense et excentrique (**Maughan et al., 2018**).

I.1.4.2. Triglycérides à chaîne moyenne

Les triglycérides à chaîne moyenne (MCT) sont des graisses composées d'acides gras à chaîne moyenne avec une longueur de chaîne de 6 à 10 molécules de carbone (**Burke et al., 2006**). Les MCT ne se produisent pas naturellement, à l'exception de la matière grasse laitière, où on n'en trouve qu'une petite fraction. Les MCT sont des lipides structurés dérivés de l'huile de noix de coco et de palmiste. Les MCT sont fabriqués synthétiquement par hydrolyse de l'huile de coco suivie d'un fractionnement des acides gras (**Berning, 1996**).

Dans le monde du sport, les MCT ont été positionnés comme des sources de carburant facilement absorbées et oxydées, et ont été commercialisés auprès des culturistes comme des sources de graisse moins susceptibles de se déposer sous forme de graisse corporelle. Un autre rôle des MCT dans le sport est de fournir une source de carburant lors des épreuves d'endurance et d'ultra-endurance, ce qui pourrait potentiellement épargner le glycogène et prolonger la disponibilité d'importantes réserves de glucides (**Burke et al., 2006**).

I.1.5. Vitamines

Les vitamines sont un groupe de composés organiques qui sont, en très petites quantités, essentiels au fonctionnement normal du corps humain. La plupart des vitamines sont absolument essentielles dans l'alimentation humaine car les tissus de l'organisme ne peuvent pas les synthétiser. Deux exceptions notables sont la vitamine D et la niacine. La synthèse cutanée de la vitamine D dépend d'une exposition adéquate de la peau au soleil, et la synthèse de la niacine dépend d'un

apport suffisant de son précurseur d'acide aminé, le tryptophane, lié à une protéine (Ball, 2005). Actuellement, 13 types différents de vitamines ont été décrits et classés selon leur activité biologique et chimique en :

- **Vitamines hydrosolubles** : 9 vitamines : (vitamine C et 8 vitamines B). Ils se dissolvent facilement dans l'eau et, en général, sont facilement excrétés par l'organisme et non pas facilement stockés, un apport plus continu est important (Godswill *et al.*, 2020) ;

- **Vitamines liposolubles** : les vitamines liposolubles sont les vitamines A, D, E et K. stockées dans l'organisme dans les tissus adipeux et le foie. Chacune des vitamines liposolubles est divisée en d'autres groupes, en fonction de la structure moléculaire (Stevens, 2021).

Les vitamines (Tableau 7) sont nécessaires à de nombreux processus métaboliques dans le corps et jouent un rôle important dans le soutien de la croissance et du développement. Ils sont également nécessaires à de nombreuses réactions liées à l'exercice et à l'activité physique, notamment le métabolisme de l'énergie, des glucides, des graisses et des protéines, le transfert et l'apport d'oxygène et la réparation des tissus (Volpe, 2007).

Tableau 7 : Fonctions biologiques de certaines vitamines en référence à l'exercice (Maughan, 1999 ; Lukaski, 2004 ; Bier *et al.*, 2014 ; Brancaccio *et al.*, 2022)

Vitamine	Fonction	Signe ou symptôme de carence
Vitamines hydrosolubles		
Thiamine (B1)	Métabolisme des glucides et des acides aminés	Faiblesse, diminution de l'endurance, fonte musculaire, perte de poids
Riboflavine (B2)	Métabolisme oxydatif, système de transport d'électrons	Altération de la fonction de la peau, des muqueuses et du système nerveux
Niacine (B3)	Métabolisme oxydatif, système de transport d'électrons	Irritabilité, diarrhée
Acide pantothénique (B5)	Métabolisme oxydatif (en tant que CoA)	Rare

Pyridoxine (B6)	Gluconéogenèse	Dermatite, convulsions
Acide folique (B9)	Formation d'hémoglobine et d'acide nucléique	Anémie, fatigue
Cyanocobalamine (B12)	Formation d'hémoglobine	Anémie, symptômes neurologiques
Vitamine C	Antioxydant, cicatrisation des plaies, maintien du système immunitaire	Fatigue, perte d'appétit
Vitamines liposolubles		
Vitamine A	Antioxydant, amélioration de la vision, antioxydant, maintien du système immunitaire	Perte d'appétit, sujet aux infections
Vitamine E	Antioxydant, maintien du système immunitaire, prévention des maladies cardiovasculaires, protection de la vue	Domages nerveux et musculaires
Vitamine D	Santé des os et des tissus, modulation de la croissance cellulaire, maintien du système immunitaire	Rachitisme, ostéomalacie
Vitamine K	Coagulation sanguine, renforcement osseux, prévention des maladies cardiovasculaires, antioxydant	Coagulation retardée

I.1.6. Minéraux

Dans le contexte de la nutrition, les minéraux sont des éléments inorganiques requis comme nutriments essentiels par les organismes pour remplir les fonctions nécessaires à la vie (des rôles fonctionnels et structurels ainsi qu'en étant des électrolytes) (**Godswill et al., 2020**). Les minéraux sont classés en macrominéraux (minéraux majeurs) ou microminéraux (oligoéléments) en fonction de leur degré de

présence dans l'organisme et de la quantité requise dans l'alimentation (**Jalolov et al., 2023**).

Un bon statut en minéraux et oligo-éléments essentiels est fondamental à la pratique sportive, d'autant plus que l'exercice physique crée souvent des besoins supplémentaires, selon la nature, l'intensité et la durée de l'exercice, les périodes d'entraînement et de pré-compétition, les possibilités de récupération, l'âge et sexe de l'individu (**Speich et al., 2001**). Il est bien établi qu'un exercice rigoureux en particulier par temps chaud entraîne des pertes plus importantes, notamment de magnésium, de fer, de zinc et de chrome dans la sueur et l'urine (**Huskisson et al., 2007**), ce qui signifie que les athlètes qui s'entraînent dur ont des besoins quotidiens accrus en plupart des minéraux (**Jalolov et al., 2023**).

Tableau 8 : Fonctions liées à l'exercice de certains minéraux (Hidiroglou, 1980 ; Clarkson, 1991 ; Lukaski, 2004 ; Bier et al., 2014)

Minéraux	Fonction	Signe ou symptôme de carence
Macroéléments		
Magnésium	Métabolisme énergétique, conduction nerveuse, contraction musculaire	Faiblesse musculaire, nausées, irritabilité
Calcium	Nécessaire pour les os durs ; transmission de l'influx nerveux; contraction musculaire, Active une série de réactions, notamment l'oxydation des acides gras, transporteur mitochondrial pour l'ATP (avec magnésium), libération d'insuline stimulée par le glucose.	Lésions osseuses et ostéoporose
Phosphore	Composant des os, tampon dans les fluides corporels, composant de l'ATP, des nucléotides et des coenzymes	anorexie, douleurs osseuses, ostéomalacie, faiblesse musculaire, rachitisme,
Oligo-éléments		

Zinc	Synthèse d'acide nucléique, glycolyse, élimination du dioxyde de carbone	Perte d'appétit, retard de croissance, anomalies immunitaires
Sélénium	Antioxydant, cofacteur de la glutathion peroxydase	Associé à la maladie de Keshan (cardiomyopathie) et à la maladie de Kashin-Beck (arthrose); fonction immunitaire altérée
Cuivre	Cofacteur essentiel du cytochrome C oxydase (composant de la chaîne respiratoire mitochondriale), Impliqué dans le métabolisme du fer	Anémie, neutropénie, fractures osseuses; syndrome de Menkès; Cutis laxa lié à l'X (relâchement cutané, tissus conjonctifs altérés)
Chrome	Métabolisme du glucose	Intolérance au glucose
Fer	Synthèse de l'hémoglobine	Anémie, troubles cognitifs, anomalies immunitaires
Manganèse	Cofacteur de plusieurs enzymes impliquées dans le métabolisme des glucides et la gluconéogenèse.	Anomalies squelettiques.

I.1.7. Extraits de plantes

L'utilisation d'herbes comme aides érogéniques dans l'exercice et le sport n'est pas nouvelle. On pense que ces herbes ont un effet érogéniques et contribuent ainsi à améliorer les performances physiques (**Chen et al., 2012**). Le ginseng, la caféine et la spiruline sont les herbes les plus populaires utilisées dans l'exercice et le sport.

I.1.7.1. Caféine

La caféine est le membre le plus connu des méthylxanthines, une famille de stimulants naturels présents dans les feuilles, les noix et les graines de nombreuses plantes (**Burke et al., 2006**). À la fin des années 80, les agences antidopage ont inclus quantitativement la caféine parmi les substances interdites. Cependant, en 2003, il a été retiré de la liste des interdictions et est inclus dans le programme de surveillance de l'Agence mondiale antidopage (**Alonso et Fernandez-Garcia, 2020**). L'introduction de la caféine (ou guarana) dans les « boissons énergisantes », les confiseries et les aliments/suppléments sportifs a accru les possibilités pour les athlètes de consommer de la caféine, soit dans le cadre de leur alimentation

quotidienne, soit pour une utilisation spécifique comme aide érgogéniques (**Burke et al, 2006**).

I.1.7.2. Spiruline

Arthrospira platensis, communément appelée spiruline, est un type d'algue bleu-vert, membre du phylum des cyanobactéries. Elle est utilisée comme complément alimentaire nutraceutique en raison de sa teneur élevée en protéines (jusqu'à 65 % de matières sèches) (**Lafarga et al., 2020**). La spiruline est également riche en acides aminés essentiels et en acides gras (acide palmitique, acide linoléique et acide F-linolénique), en vitamine C, en vitamine E et en sélénium (**McCarty, 2007**).

I.1.7.3. Ginseng

Ginseng est un nom général pour le genre végétal *Panax*. Le ginseng est disponible sous diverses formes, telles que racine entière, poudre de racine, thés et teintures, ainsi que des extraits de racine standardisés contenant des quantités connues de ginsénosides dans chaque lot. Il a été démontré que le ginseng possède des propriétés antioxydantes grâce auxquelles il élimine les radicaux hydroxyles et inhibe la peroxydation lipidique. Le ginseng a également été présenté comme possédant un effet stimulant et améliore ainsi la vigilance et diminue la fatigue et le stress. Par conséquent, divers mécanismes possibles d'ingestion de ginseng ont été postulés pour contribuer à l'amélioration des performances sportives humaines (**chen et al., 2012**).

Chapitre 2 : Production Industrielle des Compléments Alimentaires

II.1. L'industrie croissante des compléments sportifs

L'industrie des compléments nutritionnels sportifs a connu une croissance explosive ces derniers temps et ne montre aucun signe de ralentissement (**Loraine, 2018**). Le marketing agressif (**Molinero et Márquez, 2009**) plus la sensibilisation accrue du public au sport ont grandement favorisé le développement de cette industrie (**Cui et al., 2022**) qui propose actuellement aux consommateurs plus de 55 000 compléments parmi lesquels choisir (**Piattoly, 2022**). Bien que les États-Unis dominent le marché mondial, représentant plus de 60 % des ventes mondiales, la croissance est véritablement mondiale (**Arenas-Jal et al., 2020**). En 2017, les ventes mondiales de compléments ont atteint 128 milliards de dollars (**Chebaiki et al., 2020**). On estime que le marché mondial de la nutrition sportive atteindra environ 34,5 milliards de dollars d'ici 2028 (**Muñoz-Maldonado et al., 2022**).

La principale raison de la croissance constante du marché de la nutrition sportive est l'expansion de sa base de consommateurs au cours des 10 dernières années. Les produits de nutrition sportive, destinés à améliorer les performances, la récupération après l'entraînement ainsi que le maintien et le développement musculaire, ont été initialement conçus pour les athlètes d'élite et les culturistes afin de répondre à leurs besoins nutritionnels uniques. Cependant, en raison de la tendance à adopter un mode de vie sain, les produits de nutrition sportive sont devenus courants au cours de la dernière décennie. Outre les clubs de fitness en constante augmentation, qui exposent de plus en plus d'amateurs de sports récréatifs aux produits de nutrition sportive (**Arenas-Jal et al., 2020**).

La commercialisation de nombreux compléments contemporains s'accompagne de descriptions sophistiquées des voies métaboliques et des réactions biochimiques, affirmant que leur amélioration mènera au succès sportif (**Burke, 2006**). Deux des compléments les plus commercialisés en nutrition sportive sont les protéines et les acides aminés. En effet, 80 % des ventes de nutrition sportive proviennent de produits à base de protéines, principalement sous forme de barres et de poudres (**Arenas-Jal et al., 2020**), même si le développement des boissons protéinées fonctionnelles joue un rôle important ces dernières années (**Orrù et al., 2018**). D'un autre côté, la

demande actuelle de produits plus respectueux de l'environnement a accru la recherche de sources alternatives de protéines plus durables (**Arenas-Jal et al., 2020**).

II.2. Classification des compléments sportifs

Le marché de la nutrition sportive est classé en trois: *les boissons pour sportifs* (Boissons hypotoniques /Boissons isotoniques/Boissons hypertoniques), *les aliments pour sportifs* (gels sportifs/barres sportives/ Supplément de repas liquide/gâteaux sportifs) et les compléments sportifs qui sont également classés selon : La fonction, Le type, La forme, Le timing (pré ou post entraînement), La distribution, les utilisateurs finaux, etc.

II.2.1. Classification selon la fonction

II.2.1.1. Compléments pour le développement musculaire

Les athlètes de compétition et autres personnes intéressées par le fitness dépensent chaque année des centaines de millions de dollars en compléments alimentaires dans l'espoir d'augmenter leur masse musculaire, leur force et leur puissance (**Eichner et al., 1999**). Ces compléments ont pour objectif d'augmenter la réponse anabolisante du muscle induite par l'entraînement en résistance (**Muñoz-Maldonado et al., 2022**).

Certains produits inclus dans la catégorie des suppléments pour le gain de masse musculaire sont :

a. Suppléments à base de protéines

La plupart de ces produits sont des protéines extrais du lait, des œufs, des plantes sous forme de poudre et qui sont reconstitués avec l'ajout d'eau, de jus ou de lait. On les retrouve également en combinaison avec d'autres ingrédients nutritionnels sûrs et autorisés, tels que des glucides, acides aminés (individuels ou combinés), créatine, β -hydroxy- β -méthylbutyrate (HMB), acides gras polyinsaturés, des vitamines, des minéraux (**Muñoz-Maldonado et al., 2022**).

b. Gaineurs de masse, gaineurs de poids ou gaineurs musculaires

Ces compléments hypercaloriques sont conçus pour les personnes qui ont du mal à gagner de la masse musculaire. La plupart de ces produits contiennent une grande quantité de glucides et de protéines, ce qui en fait un bon substitut à certains repas **(Muñoz-Maldonado et al., 2022)**.

c. Boosters de testostérone (T-boosters)

Il s'agit de suppléments contenant différents ingrédients végétaux en combinaison avec des minéraux et des vitamines, en complexes ou individuellement, la matière végétale *Tribulus terrestris* étant la plus connue. Les T-boosters prétendent améliorer la force et l'endurance musculaires tout en augmentant les niveaux de testostérone dans le sang, ainsi qu'en inhibant sa conversion en œstrogène, stimulant ainsi l'hypertrophie musculaire, des déclarations sur Internet ou d'autres moyens tentent d'encourager l'utilisation de T-boosters. Les effets bénéfiques supposés sont attrayants pour les bodybuilders et les athlètes professionnels, cependant, l'efficacité et la sécurité de ces suppléments sont discutables **(Muñoz-Maldonado et al., 2022)**.

II.2.1.2. Compléments pour la récupération

La compétition et l'entraînement peuvent induire des contractions excentriques répétées et des vibrations tissulaires pouvant entraîner des lésions musculaires (c'est-à-dire une perturbation des protéines structurelles des fibres musculaires et/ou des tissus conjonctifs), une inflammation tissulaire ultérieure, des douleurs musculaires à apparition retardée (DOMS) et une fatigue perçue accrue **(Dupuy et al., 2018)**. Ces problèmes peuvent s'accompagner d'une élévation permanente des catécholamines et du cortisol avec diminution de la testostéronémie. Cette situation est responsable de retentissements métaboliques et psychologiques **(Abid et al., 2020)**.

Dans ce contexte, il est important pour l'athlète d'optimiser la période de récupération afin de gérer les dommages musculaires et d'atténuer les DOMS, l'inflammation et la fatigue, permettant ainsi de se sentir moins fatigué et de diminuer le risque de blessure **(Dupuy et al., 2018)**. Les processus de récupération comprennent aussi la restauration de l'équilibre acido-basique, la reconstitution des

réserves de glucides dans les muscles et le foie, la stimulation du renouvellement des protéines, le remplacement de l'eau et des solutés perdus dans la sueur et la minimisation de tout dommage musculaire induit par l'exercice (**Derave et Tipton, 2014**). Parmi les suppléments qui prétendent une récupération optimale on cite : les vitamines antioxydants (vitamines C et E et le bêta-carotène), vitamine D, créatine monohydrate, Beta-hydroxy Beta-méthylbutyrate, Omega-3, nitrate, spiruline, L-carnitine, boissons à base de glucides, de protéines et d'électrolytes, etc.

II.2.1.3. Compléments pour améliorer la performance

Un athlète qui s'est entraîné jusqu'aux limites de son potentiel génétique sera inévitablement tenté d'explorer toutes les options disponibles pour améliorer encore ses performances. Cela peut expliquer en partie la popularité de l'utilisation de suppléments nutritionnels en compétition (**Derave et Tipton, 2014**), et l'existence d'un marché enthousiaste pour de nombreux aliments pour sportifs et suppléments nutritionnels prétendant améliorer les performances sportives (**Burke, 2019**).

Certains compléments nutritionnels et aliments sportifs apportent de réels bénéfices pour la performance sportive. Par exemple, plusieurs études soutiennent les avantages de la consommation de boissons pour sportifs qui fournissent des glucides et des liquides pendant l'exercice (**Burke et al., 2006**). D'autres suppléments qui améliorent directement les performances sportives : la caféine, la créatine, le glycérol, beta alanine phosphate, magnésium, zinc, fer, nitrate, BCAA, vitamine D, Omega-3, etc.

II.2.1.4. Compléments pour renforcer l'immunité

Les athlètes veulent éviter les maladies pour minimiser les interruptions de l'entraînement et éviter de manquer la compétition, mais le stress physique et mental de l'entraînement et de la compétition peut compromettre la fonction immunitaire et augmenter la susceptibilité aux maladies infectieuses mineures (**Derave et Tipton, 2014**).

Un nombre croissant de rapports publiés sur l'immunologie de l'exercice prouvent que le système immunitaire est profondément affecté par un exercice intense. Immédiatement après l'exercice, le nombre total de leucocytes augmente de 50 à 100

%, représenté également par les lymphocytes et les neutrophiles avec une petite contribution des monocytes. Après un exercice d'endurance prolongé tel qu'un marathon, l'augmentation peut être encore plus importante (200 à 300 %) **(Nieman, 1994)**.

Une large gamme de compléments est promue pour le soutien immunitaire de la population générale, certains étant spécifiquement destinés aux athlètes tel que : Protéines de lactosérum, le colostrum, glutamine, les vitamines (A, B, D, E), les minéraux (magnésium, zinc, fer, sélénium), ginseng, spiruline, HMB, etc.

II.2.1.5. Compléments pour brûler les graisses

Le terme « brûleur de graisse » est utilisé pour décrire les suppléments nutritionnels censés augmenter considérablement le métabolisme des graisses ou la dépense énergétique, altérer l'absorption des graisses, augmenter la perte de poids, augmenter l'oxydation des graisses pendant l'exercice, ou provoquer d'une manière ou d'une autre des adaptations à long terme qui favorisent le métabolisme des graisses. Souvent, ces suppléments contiennent un certain nombre d'ingrédients, chacun avec son propre mécanisme d'action proposé et on prétend souvent que la combinaison de ces substances aura des effets additifs. La liste des suppléments censés augmenter ou améliorer le métabolisme des graisses est longue ; Les suppléments les plus populaires comprennent la caféine, la carnitine, le thé vert, l'acide linoléique conjugué, la forskoline, le chrome, le varech et la fucoxanthine **(Jeukendrup et Randell, 2011)**.

II.2.1.6. Compléments de perte de poids

Le procédé propose des compléments contenant des molécules alimentaires issues de plantes (comme les métabolites primaires et secondaires, les vitamines et les fibres), de microbes (probiotiques) et de fractions microbiennes originales (postbiotiques). Il contrôle également le métabolisme des lipides et des glucides, empêche l'appétit (en interaction avec le système nerveux central) et l'adipogène, influençant l'activité du microbiome interne et augmentant le déficit énergétique **(Dini et Mancusi, 2023)**. Parmi les compléments qui prétendent avoir un effet

amaigrissant, on retrouve : Ginseng, Capsaïcine, Caféine, L-carnitine, thé vert, La gomme de guar, Chitine (**Poddar et al., 2011**).

II.2.2. Classification selon la nature

Les compléments alimentaires sont soit biologiques proviennent de sources alimentaires entières (produits laitiers, fruits, légumes, fruits de mer, graines etc.) soit synthétiques fabriqués à partir de composés chimiques produits en laboratoire.

II.2.3. Classification selon le type

Le marché des suppléments sportifs est divisé en compléments de nature protéiniques, à titre d'exemple, « Whey », caséine, protéines d'œuf, protéines de poisson etc., d'origine animale ou bien d'une origine végétale : protéines de soja, de graine de citrouille, de chanvre, de pois etc. La 2^{ème} classe est seule des compléments de nature non-protéiniques tels que : les vitamines, les minéraux, oméga-3, les probiotiques, etc.

II.2.4. Classification selon la forme

Les compléments alimentaires peuvent se présenter sous différente formes : poudre (représente la forme la plus grande part des revenus), capsule, liquide, tablette, gélule, pilule, etc.

II.2.5. Classification selon le timing

Le timing de la supplémentation peut être décrit comme la stratégie de prise à un moment précis. Par exemple, la synthèse des protéines musculaires (MPS) peut être plus élevée avec l'ingestion de protéines après un exercice de résistance qu'avec l'ingestion avant l'exercice. De plus, la créatine monohydrate immédiatement après un exercice de musculation a permis une plus grande amélioration de la masse maigre et de la composition corporelle par rapport à l'apport avant l'exercice. Cependant, il n'existe toujours pas de consensus sur le timing de ces suppléments (**Naderi et al., 2016**).

Dans cette classe on distingue deux types de compléments : compléments pré-entraînement (pre-workout) et compléments post-entraînement (post-workout).

II.2.6. Classification selon les utilisateurs finaux

Les utilisateurs finaux sont les athlètes, les culturistes, les amateurs de fitness et Lifestyle utilisateurs.

II.2.7. Classification selon les canaux de distribution

Les compléments alimentaires destinés aux sportifs peuvent être achetés en ligne ou dans les boutiques hors ligne : supermarchés, centres de fitness, magasins spécialisés etc.

II.3. Synthèse des compléments sportifs

II.3.1. Synthèse des compléments protéinés

Les suppléments protéiques représentent un marché de plusieurs milliards de dollars et sont largement utilisés dans le sport (**Huecker et al., 2019**). L'avènement des techniques de transformation a enflammé ce marché avec des produits dérivés tels que le lactosérum et la caséine (**Hoffman et Flavo, 2004**). Récemment, en raison de la demande croissante de protéines animales en particulier, ainsi que de protéines végétales, les chercheurs travaillent pour découvrir de nouvelles sources de protéines, tel que les microalgues (**Wang et al., 2021**).

II.3.1.1. Extraction des protéines de lactosérum

Les protéines de lactosérum peuvent être concentrées (WPC) jusqu'à 80 % des matières solides totales grâce à la technologie d'ultrafiltration. Les WPC les plus courants comprennent le WPC34, le WPC60 et le WPC80, qui contiennent respectivement 34 %, 60 % et 80 % de protéines. Avec une étape supplémentaire de microfiltration, la teneur en protéines du WPC80 peut être davantage concentrée jusqu'à 90 % en éliminant l'excès de graisse, appelé Isolat de protéine de lactosérum (WPI). Le WPI possède une fonctionnalité exceptionnelle, notamment des propriétés gélifiantes, émulsifiantes et moussantes. WPC80 et WPI peuvent également être instantanés pour les suppléments protéiques destinés au sport et aux adultes (**Guo, 2019**).

Tableau 9 : Composition approximative de concentrés de protéines de lactosérum (WPC) commercialisés contenant 34 %,60 % et 90 % de protéines totales et d'isolat de protéines de lactosérum (WPI) **(Guo, 2019)**

	Protéine	Lactose	Lipides	Cendres	Humidité
WPC 34	34.0-36.0	48.0-52.0	3.0-4.5	6.5-8.0	3.0-4.5
WPC 60	60.0-62.0	25.0-30.0	1.0-7.0	4.0-6.0	3.0-5.0
WPC 90	80.0-82.0	4.0-8.0	4.0-8.0	3.0-4.0	3.5-4.5
WPI	90.0-92.0	0.5-1.0	0.5-1.0	2.0-3.0	4.5

La technologie de filtration sur membrane est utilisée commercialement dans l'industrie laitière depuis plus d'un demi-siècle et domine actuellement la fabrication de protéines de lactosérum dans le monde. Le principe de base d'une technologie membranaire est représenté dans **la figure 3**.

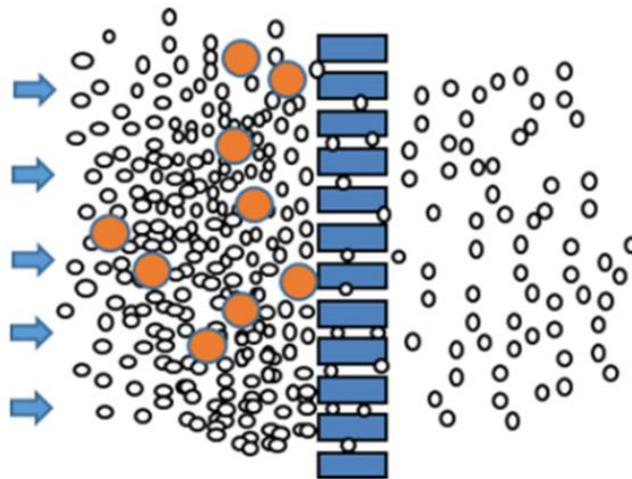


Figure 3 : *Séparation par filtration. Les particules plus petites que la taille des pores de la membrane pénètrent, tandis que les plus grosses particules sont retenues (Guo, 2019).*

Les composants plus petits que la taille des pores de la membrane traversent la membrane et sont appelés « perméat » ; tandis que les plus gros sont retenus, ce qu'on appelle « rétentat » ; par conséquent, la séparation de composants de différentes tailles de particules est possible. Il existe deux types de système de

filtration : perpendiculaire (ou sans issue) et à flux transversal, comme illustré dans la **figure 4**.

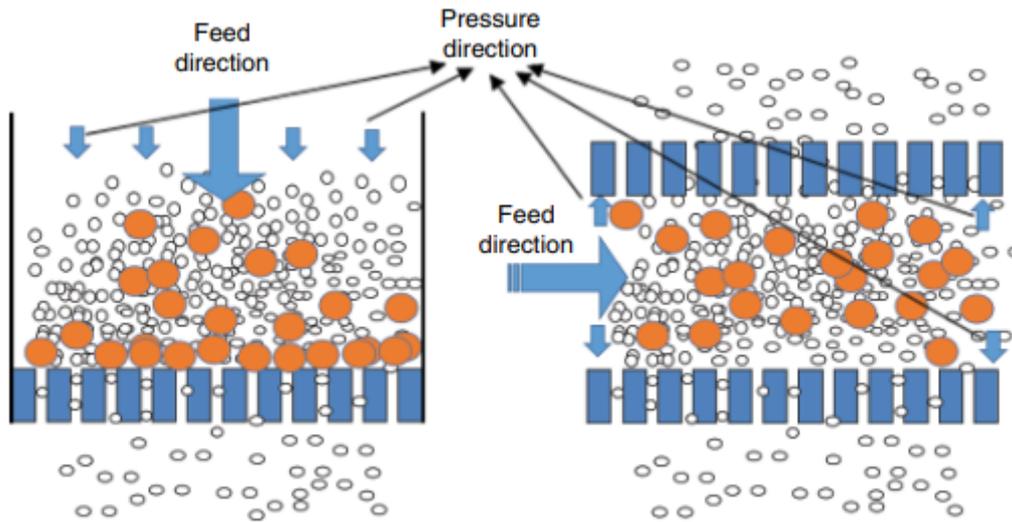


Figure 4 : Filtration perpendiculaire ou transversale (Guo, 2019).

La direction d'alimentation en mode perpendiculaire est directement vers le filtre. Lorsque le perméat traverse la membrane, les particules de rétentat peuvent se déposer sur la surface interne du filtre, entraînant un encrassement rapide de la membrane. En mode flux transversal, la direction du flux d'alimentation est tangentielle à la surface du filtre. Lorsque le rétentat commence à s'accumuler sur la surface interne de la membrane, le flux d'alimentation pourrait l'éloigner de la membrane, ce qui augmenterait considérablement le flux de la membrane. De nos jours, la filtration à flux croisés est utilisée commercialement pour la production de protéines de lactosérum, alors que les systèmes perpendiculaires sont limités aux petites opérations de laboratoire pour la fabrication de protéines de lactosérum. Le lait contient des particules de tailles très variées. **La figure 5** montre la taille des principaux composants présents dans le lait et le spectre de filtration des différentes membranes. Généralement, le processus de filtration peut être classé en microfiltration (MF), ultrafiltration (UF), nanofiltration et osmose inverse (RO) en fonction de la taille des pores de la membrane. Le MF pourrait retenir les micelles de caséine, les globules gras et les bactéries de taille supérieure à 100 nm ; L'UF retient les globules gras, à la fois les micelles de caséine et les protéines de lactosérum d'une taille supérieure à 1 nm ; NF retient toutes les protéines, les graisses ainsi que le lactose, seuls les minéraux et l'eau peuvent passer la membrane ; RO retient tout sauf

la molécule d'eau libre. La pression est nécessaire pour surmonter la pression et le débit osmotiques en raison de la différence de concentration entre le perméat et le rétentat. Plus la taille des pores de la membrane est petite, plus la pression nécessaire est élevée pour amener le perméat à traverser la membrane. La pression nécessaire pour MF, UF, NF et RO est respectivement de 2 bar, 1 à 10 bar, 5 à 40 bar et 10 à 100 bar (Guo, 2019).

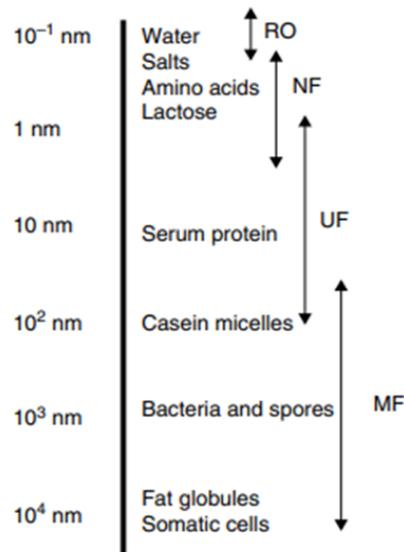


Figure 5 : Spectre de filtration et taille des principaux composants du lait (Guo, 2019).

Actuellement dans le traitement des WPC/WPI, l'UF est utilisé pour récupérer les protéines de lactosérum à partir du lactosérum liquide, en retenant les protéines de lactosérum tout en imprégnant le lactose et les minéraux. La plupart des produits commerciaux actuels à base de protéines de lactosérum sont fabriqués à l'aide de la technologie membranaire. Les produits commerciaux à base de protéines de lactosérum avec une pureté protéique de 20 % à 90 % ou plus, avec différentes fonctionnalités et applications, sont principalement produits en utilisant la technologie des membranes (Guo, 2019).

Même si les effets positifs des suppléments contenant des protéines de lactosérum pour optimiser les réponses anabolisantes et le processus d'adaptation chez les individus entraînés en résistance ont été soutenus par plusieurs enquêtes.

l'administration de différentes formulations multi-ingrédients dans lesquelles les protéines de lactosérum sont combinées avec des glucides, d'autres sources de protéines, de la créatine et des acides aminés ou dérivés, a été largement proposée comme stratégie efficace pour maximiser les gains de force et de masse musculaire chez les athlètes (**Naclerio et Larumbe-Zabala, 2016**).

II.3.1.2. Extraction des protéines de Caséine

Il existe trois types distincts de caséines disponibles dans le commerce : la caséine acide, caséine présure et la caséine micellaire, selon la méthode utilisée pour les extraire du lait. La caséine acide est obtenue par précipitation de caséine à partir de lait écrémé à son point isoélectrique de pH 4,6 à ~40°C en utilisant de préférence HCl, H₂SO₄ ou production in situ d'acide lactique par des bactéries lactiques. La caséine présure est obtenue par coagulation du lait écrémé avec de la présure (chymosine), tandis que la caséine micellaire native (NMC) est essentiellement un concentré de protéines de lait sans protéines de lactosérum obtenu par microfiltration et diafiltration du lait suivies d'un séchage par pulvérisation. Les caséines non micellaires sont des caséines présentes dans le sérum de lait. Les coprécipités sont des produits à base de caséine obtenus par coagulation acide + thermique du lait, contenant à la fois des caséines et des protéines de lactosérum. Les autres produits protéiques du lait riches en caséine comprennent le lait en poudre écrémé (NFDM), les concentrés de protéines du lait (MPC) et les isolats de protéines du lait (MPI) (Ustunol, 2014).

Tableau 10 : Le pourcentage des protéines de divers produits du lait (**USDEC (United States Dairy Export Council), 2006**)

Produit	Protéine (%)	pH
NFDM	36.0	
MPC 56	56.0	6.0-8.0
MPC 70	70.0	6.0-8.0
MPC 80	80.0	6.0-8.0
MPI	90.0	6.7-7.2
Caséine micellaire	85.0	6.7-7.1
Caséine acide	85.2	4.2-5.2

Caséine préure	84.0	4.6-5.1
Co-précipité	89-94	~6.8

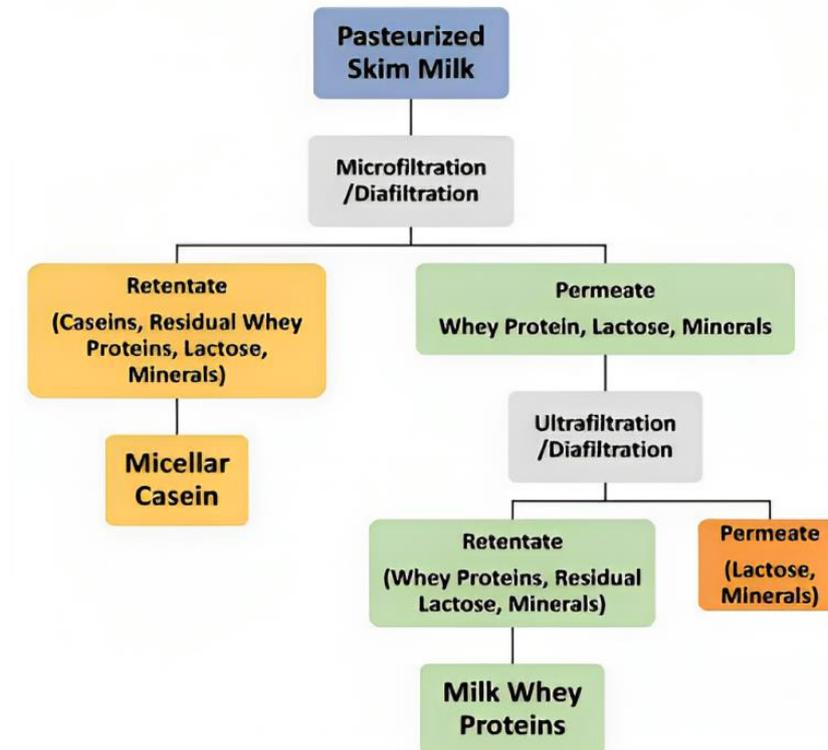


Figure 6 : Schéma de l'extraction des caséines micellaires natives et des protéines de lactosérum (Atallah, 2021).

II.3.1.3. Synthèse des vitamines

Traditionnellement, les vitamines sont produites par synthèse chimique organique, mais cela nécessite souvent un nombre élevé de réactions, utilisant des appareils coûteux ainsi que des solvants qui sont généralement des polluants indésirables nocifs à l'environnement. Pour surmonter ces inconvénients, la production biologique de vitamines a été développée, en identifiant les microorganismes producteurs naturels, en trouvant les conditions de cultures les plus rentables et en augmentant la production. Ainsi, la biotechnologie apparaît comme un moyen écologique sain afin d'augmenter la production des vitamines, d'enrichir les sources naturelles ou d'en créer de nouvelles molécules plus adaptées à des fins industrielles. En ce sens, la biotechnologie « verte » peut produire des cultures à haute teneur en vitamines, qui peuvent être extraites ou utilisées directement comme source alimentaire de vitamines, tandis que la biotechnologie « blanche » est capable

de modifier les microorganismes grâce au génie génétique, en les transformant en vitamines producteurs (**Rana et al., 2019 ; Abd-El Gawad et al., 2020**). La production microbienne présente plusieurs avantages car les microorganismes offrent une grande rapidité de croissance et de production. Aussi, ils ne dépendent pas des conditions climatiques et des saisons, mais plutôt des conditions physico-chimiques qu'on leur applique ; ils sont peu exigeants et peuvent être réutilisés plusieurs fois pour la même production. De plus, ils ne sont pas en concurrence avec les besoins alimentaires humains (**Huang et al., 2021**).

De nombreuses disciplines et techniques sont développées par la communauté scientifique pour tenter d'encourager l'amélioration rapide de la biotechnologie « blanche », comme l'ingénierie métabolique, la bioinformatique, la fluxomique, la métabolique, la biologie des systèmes, la biologie synthétique, etc. La plupart des vitamines sont produites par voie microbiologique et cette utilisation des germes continue à se développer de plus en plus. En effet, des approches à l'échelle moléculaire et génétique continuent d'être appliquées sur les microorganismes en vue d'améliorer la production des vitamines, notamment leur quantité et leur diversité ; et ce, toujours dans le but d'améliorer le rendement de production (**Balabanova et al., 2021**).

II.3.1.4. Synthèse de créatine

La créatine monohydrate est la forme la plus pure et la plus efficace de ce supplément. Elle est généralement synthétisée par réaction de cyanamide (ou de thiourée à la place) et de sarcosinate (N-méthylglycinate) à un pH de 7 à 14 et à des températures élevées. Le produit brut est purifié par recristallisation et analysé par chromatographie sur couche mince, point de fusion et spectroscopie de résonance magnétique nucléaire (**Smith and Tan, 2006 ; Hülsemann et al., 2011**).

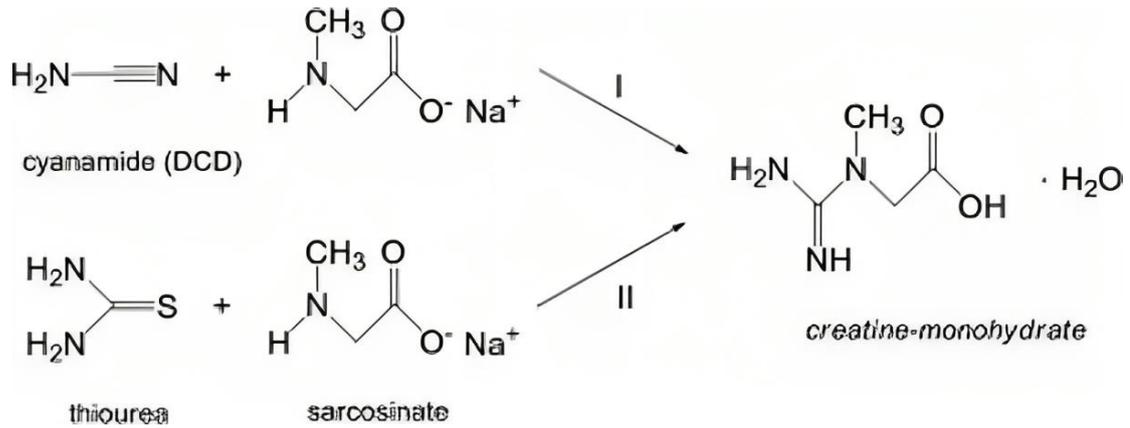


Figure 7 : *synthèse industrielle de créatine-monohydrate (Hülsemann et al., 2011)*

II.3.1.5. Synthèse du Maltodextrine

La maltodextrine est un produit hydrolysé de l'amidon et consiste en un mélange de saccharides, principalement du D-glucose, du maltose et une série d'oligosaccharides et de polysaccharides. Il présente donc une large distribution de masse moléculaire. L'équivalent dextrose (DE) exprime le nombre de groupes aldéhyde aux extrémités réduites par rapport au glucose pur. Ainsi, un équivalent dextrose (DE) élevé indique une conversion hydrolytique élevée et un faible poids moléculaire. Selon le degré d'hydrolyse de la molécule d'amidon, le produit obtenu est classé en maltodextrine (si la valeur DE est inférieure à 20) ou en sirop (DE égal ou supérieur à 20). Le procédé de production de maltodextrine liquide ayant un DE compris entre 5 et 20 % commence par mélanger de l'amidon avec une quantité d'eau suffisante pour fournir une solution d'amidon autour de 50 % DS (% de solide sec). Une quantité d' α -amylase suffisante pour hydrolyser l'amidon est ajoutée à cette solution. Cette bouillie d'amidon est évaporée pour obtenir une solution d'amidon avec DE entre 0,5 et 5,0 %. Le processus enzymatique implique deux étapes d'addition d' α -amylase. Dans un premier temps, la solution est chauffée de 120 à 165°C pendant une période de 30 secondes à 10 minutes. Elle est ensuite maintenue à une température comprise entre 101°C et 115°C, pendant 10 minutes maximum dans un récipient sous pression. Dans la deuxième étape d'ajout d'une amylase, la solution est maintenue entre des températures de 93°C à 100°C pendant suffisamment de temps pour obtenir le produit avec DE entre 5 et 20 %. La solution est après séchée et transformée en poudre par le séchage par pulvérisation qui est l'un des types de technologie de séchage adapté au traitement des solutions, des suspensions et des

matériaux de type boue. Le liquide alimenté peut devenir des gouttelettes de brouillard de dimensions micrométriques, puis elles sont rapidement séchées en particules d'un diamètre d'environ 30 à 500 μm par air chaud en 5 à 30 s (Ikeda et al., 2022).

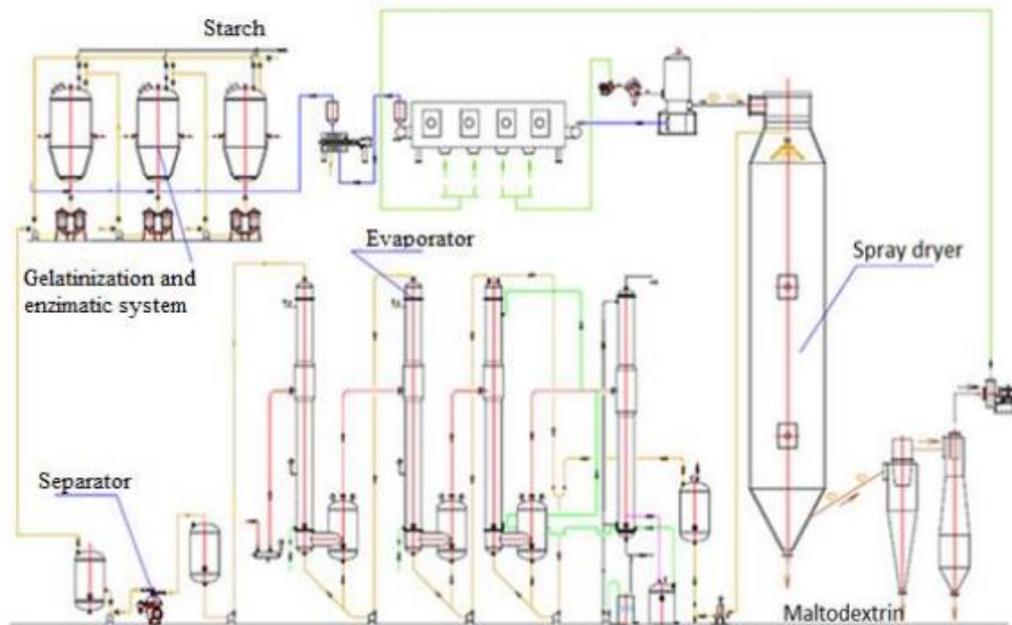


Figure 8 : Représentation schématique du processus de conversion de l'amidon en maltodextrine (Ikeda et al., 2022)

Chapitre 3 : Avantages et inconvénients de l'utilisation des compléments alimentaires destinés aux sportifs à la lumière des réglementations nationales et internationales

III.1. L'utilisation des compléments alimentaires destinés aux sportifs

L'utilisation de compléments ergogènes a commencé il y a de nombreuses années, lorsque les humains recherchaient des substances pour améliorer leurs performances physiques. Les sociétés préhispaniques de Méso-Amérique utilisaient des plantes contenant de la caféine, comme le cacao et le houx vers 1400 après JC. Durant l'Empire romain, les guerriers de l'école des gladiateurs avaient un régime spécial riche en orge et en haricots verts, entre autres aliments, comme le mentionnent les textes anciens. Dans la Grèce antique, les Jeux Olympiques étaient l'événement sportif le plus important qui perdure encore aujourd'hui. À cette époque, les sportifs recherchaient des traitements pour améliorer leurs performances et soulager les douleurs liées à l'entraînement leur régime alimentaire est donc passé du blé, du fromage à pâte molle et des figues séchées à la viande, au porc et au poisson. Ils ont également utilisé du pain blanc aux graines de pavot, qui contient des dérivés du phénanthrène qui provoquent l'euphorie et réduisent la douleur. Plus récemment, lors des X^{es} Jeux Olympiques de Berlin en 1937, il a été constaté que certains athlètes utilisaient des suppléments nutritionnels tels que le glucose, la lécithine et l'orge (**Alonso et Fernandez-Garcia, 2020**).

III.1.1. Les motivations pour utiliser les compléments sportifs

De nombreux athlètes pensent qu'une alimentation normale ne suffit pas pour obtenir des performances optimales et ont recours à des compléments alimentaires pour tenter d'améliorer leur alimentation ou d'acquérir un avantage concurrentiel (**Maughan et al., 2007**). Plusieurs facteurs peuvent être impliqués dans la décision des athlètes d'utiliser des suppléments, principalement pour retarder la fatigue et avoir une récupération plus rapide, améliorer leurs performances, gagner une masse musculaire et perdre la graisse corporelle et surtout pour améliorer leur santé car une maladie ou une blessure qui nécessite une pause dans l'entraînement peut perturber

les préparatifs, et une maladie lors de compétitions majeures peut ruiner la saison de compétition d'un athlète **(Baylis et al., 2001 ; Heikkinen et al., 2002)**.

Parfois, il est difficile d'obtenir certains nutriments en quantité suffisante à partir de l'alimentation, ou certains nutriments ne sont disponibles que dans des aliments que les athlètes ne consomment pas ou n'aiment pas. Dans ce cas, des doses concentrées de certains nutriments inclus dans les suppléments deviennent nécessaires pour corriger les carences et/ou améliorer capacité immunitaire Endurance **(Close et al., 2022)**

L'environnement social de l'athlète, composé de parents, d'amis, de coéquipiers et de conseillers techniques des équipes, tels que des entraîneurs, des médecins, des nutritionnistes et des physiothérapeutes, constitue un autre incitatif à l'utilisation de suppléments sportifs. Même les athlètes de haut niveau vantent certains avantages de l'utilisation de certaines substances pour améliorer les performances, la récupération et la santé, ce qui peut influencer les décisions concernant l'utilisation des SS prises par d'autres athlètes, sans oublier le rôle des médias sociaux **(Alonso et Fernandez Garcia, 2020)**.

III.1.2. L'utilisation selon l'âge

Braun et ses collègues ont rapporté que l'utilisation de suppléments variait selon les catégories d'âge et le niveau de performance : les athlètes de plus de 18 ans concourant au niveau international ont déclaré une utilisation plus élevée (100 %) que les athlètes plus jeunes concourant au niveau national ou régional **(Braun et al., 2009)**.

III.1.3. L'utilisation selon le sexe

Wiens et ses collègues n'ont signalé aucune différence globale liée au sexe dans l'utilisation des suppléments en soi, mais ils ont constaté que les athlètes masculins étaient plus susceptibles de consommer des protéines en poudre et des suppléments ergogènes, généralement associés à une augmentation de la masse musculaire, tandis que les athlètes féminines étaient plus susceptibles de consommer des vitamines et des minéraux. suppléments, généralement associés à une meilleure santé **(Wiens et al., 2014)**.

III.1.4. L'utilisation selon le type de consommateurs

Le marché de la nutrition sportive cible principalement trois types de consommateurs différents: Culturistes et autres athlètes professionnels qui cherchent à augmenter leur masse musculaire, les sportifs récréatifs qui pratiquent l'exercice physique comme passe-temps et enfin les consommateurs ayant un mode de vie sain, qui n'utilisent pas nécessairement ces produits pour améliorer leurs performances physiques **(Muñoz-Maldonado et al., 2022)**.

L'utilisation de suppléments chez les hommes et les femmes sportifs professionnels est respectivement de 69% et 71%, tandis que chez les sportifs récréatifs elle est de 48% et 42% **(Tsarouhas et al., 2018)**. Les athlètes d'élite utilisent plus de suppléments que les athlètes non-élites, et les suppléments sportifs sont les suppléments les plus couramment utilisés. En outre, plusieurs études montrent que les athlètes pratiquant des sports d'endurance utilisent davantage de suppléments que les athlètes d'autres catégories sportives **(Garthe et Maughan, 2018)**. Récemment, d'autres disciplines sportives de niveau professionnel ont montré une forte prévalence de consommation, comme le cyclisme (86 %), les sports nautiques (77 %) et l'haltérophilie (75 %) **(Muñoz-Maldonado et al., 2022)**.

III.1.5. L'utilisation en Algérie

En Algérie, l'utilisation de suppléments sportifs est devenue de plus en plus populaire, que ce soit par les athlètes professionnels ou non, ou par ceux qui suivent un mode de vie sain.

Dans une étude menée à la Faculté de médecine, l'université Djillali Liabes, Wilaya de Sidi Bel Abbès, par **Chebaiki et al. (2020)** pour un but de savoir les modèles d'utilisation des suppléments nutritionnels chez les athlètes algériens, auprès de 200 sportifs issus de 12 centres et 8 magasins de nutrition sportive situés dans trois villes de l'ouest algérien : Oran, Sidi Bel Abbès et Mascara, les résultats sont mentionnés dans **le tableau 11**.

Tableau 11 : Utilisation des suppléments pour un échantillon de sportifs algériens
(Chebaiki *et al.*, 2020) -1

Variables	Fréquence (n = 200)	Pourcentage (%)
Genre		
Homme	190	95
Femme	10	5
Age (ans)		
< 20	24	12
[21-30]	126	63
[31-40]	42	21
> 40	8	4
Timing		
Avant l'entraînement	94	47
Pendant l'entraînement	50	25
Après l'entraînement	22	11
Matin	28	14
Soir	6	3
Motivations		
Augmenter la masse musculaire	59	118
Améliorer la performance	25	50
Bruler les graisses	15	30
Remplacer les nutriments	2	4
Type du complément utilisé		
Mass gainer	50	25
«Whey» protein	40	20
BCAA	40	20
Glutamine	22	11
Créatine	22	11
Vitamine	12	6
Bruleurs de graisse	6	3
Arginine	4	2
Pre-Workout	4	2
Fréquence de l'utilisation		
Uniquement pendant les jours d'entraînement	106	53
Quotidiennement	94	47

III.2. Recommandations

L'utilisation des compléments sportifs a évolué d'une recommandation générale à un protocole spécifique au sport basé sur la connaissance des exigences physiologiques spécifiques de l'entraînement et de la compétition (**Alonso et**

Fernandez-Garcia, 2020), ainsi que le timing d'utilisation, la durée et la dose recommandé pour chaque complément.

Tableau 12 : Résumé des directives pratiques concernant les doses recommandées, le « timing » et la durée de prise des suppléments sportifs (Naderi et al., 2016).

Complément	Dose recommandée	Timing	Durée de prise
B-alanine	3-6 g	Ingestion avec un repas contenant des glucides et des protéines	4 semaines
Nitrate	~5-9 mmol	2 à 2,5 heures avant l'exercice	1-28 jours
Caféine	~3-6 mg / (Kg pc)	60-90 min avant l'exercice	
Créatine	20-25 g (dose de charge)	Ingestion après l'exercice avec des boissons contenant des glucides et des protéines	5-7 jours
	3-5 g (dose d'entretien)		4-12 semaines
Glucide	300-400 g de repas riche en glucides	3-4 heures avant l'exercice	
	Rince-bouche aux glucides	Lors d'un exercice d'une durée inférieure à 60 minutes	
	30 à 60 g/h de glucose ou de maltodextrine avec une concentration de glucides de 6 à 8 %	Pendant un exercice d'une durée de 1 à 2 heures	
	90 g/h de glucose ou de maltodextrine + fructose (2 :1) avec une solution de glucides à 8-10 %	Pendant un exercice de plus de 2,5 heures	
	1,2 g / (kg pc) ou 0,8 g / (kg pc) glucides + 0,4 g / (kg pc) protéines	Après l'exercice	
Protéine	20-25 g pour les jeunes sportifs 40 g pour les sportifs âgés	Après l'exercice	
	~ 0,25-0,30 g/kg à chaque repas pour les jeunes ~ 0,40 g/kg à chaque repas pour personne âgée	Fréquence des repas	

L'apport nutritionnel recommandé (ANR) est la quantité d'apport suffisante pour répondre aux besoins nutritionnels de presque tous les individus en bonne santé d'un groupe. L'ANR est exprimée sous la forme d'une valeur unique définie séparément

pour chaque sexe et groupe d'âge spécifique. Si un individu atteint ou dépasse l'AJR pour un nutriment, il y a une bonne assurance que l'apport est adéquat (Lukaski, 2004).

Tableau 13 : Apport nutritionnel recommandé (ANR) et limite supérieure tolérable pour certaines vitamines et minéraux (Edori et Marcus, 2017 ; Clemesha *et al.*, 2020)

Complément (Minéraux / Vitamines)	ANR (mg)	Limite supérieure de consommation tolérable (mg)
Calcium	1000	2500
Magnésium	320	450
Fer	8	45
Phosphore	700	4000
Sélénium	55 ug	400 ug
Zinc	11	40
Cuivre	900 ug	10000 ug
Vitamine B2	1.3	Non disponible
Vitamine B3	16	35
Vitamine B5	5	Non disponible
Vitamine B6	1.3	100
Vitamine B9	400 ug	1000 ug
Vitamine B12	2.4 ug	Non disponible
Vitamine C	90	2000
Vitamine D	600 UI	4000 UI
Vitamine E	33 UI	1100 UI
Vitamine K	120 ug	Non disponible

Le Centre Canadien pour l'Éthique du Sport, en collaboration avec l'Agence mondiale antidopage (AMA), a énoncé un certain nombre de recommandations aux sportifs concernant la consommation de compléments alimentaires dont les principales sont les suivantes :

1. Toujours rechercher des conseils professionnels avant de consommer des compléments. Toujours s'assurer que les professionnels connaissent les risques

associés à l'utilisation de compléments et qu'ils examinent la liste des interdictions de l'AMA.

2. Examinez si vous avez vraiment besoin d'un supplément en déterminant si vous avez d'autres options telles qu'un changement de votre programme de nutrition.

3. Ne jamais utiliser un complément parce qu'un collègue ou un compétiteur l'utilise ou le recommande.

4. Les vitamines et les minéraux présentent une préoccupation moindre que les produits qui s'appuient sur des avantages au niveau du rendement (exemple : aide la musculation, aide à brûler les calories).

5. Il existe toujours un risque accru de dopage lorsque les compléments sont achetés selon des moyens non traditionnels tels que : l'Internet, par l'entremise de revues ou directement d'un fournisseur non autorisé.

6. Vérifier si le fabricant est prêt à répondre de son produit si jamais il y avait une violation des règlements antidopage. Le fabricant offre-t-il une certaine forme de garantie ou de compensation ? Quelle preuve le fabricant exige-t-il pour que vous ayez droit à une telle compensation ? Si le fabricant offre une garantie, toujours obtenir une lettre de confirmation signée par un administrateur senior de la compagnie **(Coste, 2017)**.

III.3. Bienfaits des compléments destinés aux sportifs

Certains compléments sportifs offrent de réels avantages au sportif. Certains entre eux agissent directement en produisant un effet érogène améliorant les performances. D'autres produits peuvent être utilisés pour atteindre des objectifs nutritionnels et, indirectement, permettre aux athlètes d'atteindre des performances optimales. Certains effets érogéniques ou directives de la nutrition sportive sont également si bien connus et facilement démontrés que les utilisations bénéfiques des aliments ou suppléments sportifs sont claires. Mais même lorsque les bénéfices nutritionnels indirects ou les véritables résultats érogéniques de l'utilisation de suppléments sont faibles, ils en valent souvent la peine dans le monde compétitif du sport **(Hopkins et al., 1999)**.

Même lorsqu'un aliment ou un complément sportif ne produit pas de véritable bénéfice physiologique ou ergogène, un athlète peut obtenir un certain bénéfice en termes de performances en raison d'un boost psychologique ou d'un effet « placebo ». L'effet placebo décrit un résultat favorable résultant simplement de la conviction d'un individu qu'il a reçu un traitement bénéfique. Un athlète qui reçoit du matériel marketing enthousiaste au sujet d'un nouveau supplément ou qui entend des témoignages élogieux d'autres athlètes qui l'ont utilisé est plus susceptible de rapporter une expérience positive. Des études supplémentaires bien contrôlées sont nécessaires pour mieux décrire l'ampleur et la durée potentielles de cet effet et s'il s'applique également à tous les athlètes et à tous les types de performance. En attendant, nous pouvons accepter l'existence de l'effet placebo (**Burke et al., 2006**).

Tableau 14 : Bienfaits potentiels de certains compléments alimentaires (**Rawson et al., 2018 ; Maughan et al., 2018 ; Peeling et al., 2019**)

Complément	Bienfaits
Caféine	Agit comme un antagoniste des récepteurs de l'adénosine, avec de nombreux effets sur différents organes et systèmes. Les actions comprennent une augmentation de la libération d'épinéphrine, des améliorations de la fonction neuromusculaire, de la vigilance et de l'alerte, ainsi qu'un masquage de la douleur et de la perception de l'effort
Monohydrate de créatine	Augmente les réserves musculaires de créatine et augmente le taux de resynthèse de phosphocréatine, améliorant ainsi la capacité d'exercice à court terme et de haute intensité et la capacité d'effectuer des séances répétées de haute intensité. Les effets chroniques de l'augmentation de la taille et de la force musculaire pourraient s'expliquer par des avantages indirects (permettant à l'athlète de s'entraîner plus dur) ainsi que par les avantages directs de la régulation positive de la signalisation cellulaire et de la synthèse des protéines dues aux changements dans l'osmolalité cellulaire.
Nitrate	Améliore la biodisponibilité du l'oxyde nitrique (NO) via la voie NO ₃ ⁻ --nitrite-NO, qui joue un rôle important dans la modulation de la fonction musculaire squelettique. Cette voie augmente les performances physiques via une fonction améliorée des fibres musculaires de type II, un coût réduit en ATP pour la production de force musculaire, une efficacité accrue de la respiration mitochondriale, une augmentation du

	flux sanguin vers le muscle et une diminution du flux sanguin vers les hétérogénéités VO ₂ .
β-Alanine	Est un précurseur limitant de la carnosine, un tampon de pH endogène intracellulaire (musculaire) pendant l'exercice. Une supplémentation chronique et quotidienne augmente la teneur en carnosine des muscles squelettiques.
Bicarbonate de sodium	Agit comme un tampon extracellulaire (sang), contribuant à la régulation du pH intracellulaire en augmentant le pH extracellulaire et les concentrations de HCO ₃ ⁻ . Le gradient de pH qui en résulte entre les environnements intracellulaire et extracellulaire entraîne un efflux de H ⁺ et La ⁻ (lactate) du muscle en exercice.
Bêta-hydroxy Bêta-méthylbutyrate	Amélioration de la masse maigre, de la force et de l'adaptation à l'exercice grâce à une diminution de la dégradation des protéines musculaires; réduction des symptômes ou amélioration de la récupération après un exercice endommageant les muscles (par exemple, diminution des douleurs musculaires d'apparition tardive (DOMS)).
Vitamine D	Amélioration de la réponse adaptative à l'exercice; diminution de l'incidence, de la durée et de la gravité des maladies des voies respiratoires supérieures; diminution des fractures de stress.
Vitamine E	Il désaltère les ROS (espèces réactives de l'oxygène) induites par l'exercice et augmente l'immunité.
Vitamine C	Il désaltère les ROS et augmente l'immunité. Réduit les réponses de l'interleukine-6 et du cortisol à l'exercice chez l'homme.
Collagène	Augmentation de la production de collagène, épaissement du cartilage, diminution des douleurs au genou.
Curcumine	Effets anti-inflammatoires; réduction des symptômes ou amélioration de la récupération après un exercice endommageant les muscles (par exemple, diminution du DOMS).
Glucides	Maintient la glycémie pendant l'exercice, réduit les hormones du stress et combat ainsi le dysfonctionnement immunitaire.
Colostrum bovin	Réputé pour améliorer l'immunité des muqueuses et augmenter la résistance aux infections.
Protéine	Récupération post-exercice suite à des séances d'entraînement clés ou à des événements où une adaptation nécessitant une synthèse protéique est souhaitée; réalisation d'une augmentation de la masse

	maigre pendant la croissance ou en réponse à un entraînement en résistance
Omega-3	Traitement cognitif amélioré ; diminution du risque/amélioration de la récupération après un traumatisme crânien ; réduction des symptômes ou amélioration de la récupération après un exercice endommageant les muscles (par exemple, DOMS).
Probiotiques	Diminution de la gravité ou de la durée des problèmes gastro-intestinaux ; diminution de l'incidence, de la durée et de la gravité des maladies des voies respiratoires supérieures.
Zinc	Il nécessaire à la synthèse de l'ADN et comme cofacteur enzymatique pour les cellules immunitaires.

III.4. Problèmes liés à l'utilisation des compléments sportifs

Parallèlement à l'augmentation de leur utilisation au cours des dernières décennies, il existe un nombre croissant de preuves selon lesquelles certains compléments alimentaires pourraient ne pas être sûrs pour de nombreuses raisons diverses, telles qu'un mauvais contrôle de qualité par les fabricants, des conditions de stockage inadéquates ou l'ajout délibéré de composants actifs illégaux pour augmenter l'efficacité du produit **(Deldicque et Francaux, 2016)**.

III.4.1. Cout élevé

Un problème évident lié à l'utilisation de suppléments est la dépense qui, dans des cas extrêmes, peut égaler ou dépasser le budget alimentaire hebdomadaire de l'athlète. Ceci est le résultat des coûts des ingrédients spéciaux, de la recherche et du développement, du marketing, de l'emballage ou de la transformation spécialisée et des coûts unitaires plus élevés pour les produits de niche. Parfois, cela peut être considéré comme de l'argent bien dépensé, en particulier lorsque le supplément ou l'aliment pour sportifs constitue le moyen le plus pratique et le plus agréable d'atteindre une nutrition objectif, ou lorsque les bénéfices érogéniques ont été bien documentés. À d'autres occasions, l'athlète peut choisir de limiter l'utilisation de produits coûteux aux événements ou aux périodes d'entraînement les plus importants **(Burke et al., 2006)**

III.4.2. Faibles réglementations et violations des fabricants

L'industrie des compléments alimentaires est faiblement réglementée par rapport à l'industrie des médicaments et la plupart des suppléments sont considérés par les organismes de réglementation comme relativement sûrs, de ce fait, dans de nombreux pays, il n'existe aucun processus comptable officiel ou obligatoire pour documenter les effets secondaires indésirables résultant de l'utilisation de ces produits et les fabricants de compléments n'ont pas à prouver scientifiquement que les produits qu'ils commercialisent sont sûrs avant leur consommation **(Burke *et al.*, 2006 ; Piattoly, 2022)**.

Les preuves d'un mauvais contrôle de qualité, délibéré ou non, dans la fabrication et le stockage des suppléments se sont multipliées au cours des deux dernières décennies **(Maughan, 2005)**, mais dans la plupart des cas, c'est délibérément afin d'obtenir des effets plus visibles revendiqués par leur produit **(Muñoz-Maldonado *et al.*, 2022)**. Le site Web de la Food and Drug Administration (FDA) contient des rapports fréquents faisant état de problèmes liés aux suppléments. Les préoccupations les plus fréquentes sont la présence d'allergènes non déclarés, de contamination microbiologique ou de corps étrangers. Les contaminants présents dans les produits comprennent des stimulants, des composés œstrogéniques, des diurétiques et des agents anabolisants, notamment des stéroïdes anabolisants, des stéroïdes de synthèse et des prohormones **(Deldicque et Francaux, 2016)**.

Une étude publiée dans le Journal of the American Medical Association indique que sur les 274 compléments alimentaires rappelés entre 2009 et 2012, 67 % contenaient un ou plusieurs médicaments pharmaceutiques. Cela comprenait des médicaments tels que le Viagra et le médicament diététique Meridia, qui ont été retirés du marché en raison des risques de crise cardiaque et d'accident vasculaire cérébral **(Piattoly, 2022)**.

La FDA a récemment rappelé des suppléments contenant des doses excessives de vitamines A, D, B6 et de sélénium en raison des niveaux potentiellement toxiques de ces composants. Des exemples de plaintes concernant des produits incluent la présence d'impuretés, notamment du verre brisé et des fragments de métal, en raison du non-respect par les producteurs des bonnes pratiques de fabrication. Le risque de

troubles gastro-intestinaux dus à une mauvaise hygiène lors de la production et du stockage des produits est également préoccupant **(Maughan et al., 2018)**. Il existe également des preuves que certains produits ne contiennent pas la quantité indiquée d'ingrédients de la plus haute valeur déclarée sur l'étiquette et, dans certains cas, l'ingrédient actif est complètement absent et le produit ne contient que des matériaux peu coûteux, voire des ingrédients relativement bon marché. peuvent être absents ou présents en quantités insignifiantes **(Muñoz-Maldonado et al., 2022)**.

Un autre problème de sécurité spécifique est la possibilité qu'un complément alimentaire soit contaminé par des métaux lourds. Chez les adultes, le saturnisme peut augmenter la tension artérielle, provoquer des maladies cardiovasculaires, retarder le développement cognitif et provoquer des tumeurs rénales. Le mercure organique est plus toxique que le mercure inorganique, car il est plus facile à ingérer. Des niveaux élevés d'exposition au mercure inorganique ou organique peuvent provoquer des problèmes neurologiques, notamment des convulsions, voire la mortalité. L'ingestion excessive de cadmium attaque principalement les reins et, dans une moindre mesure, le système reproducteur, de plus, une exposition chronique au cadmium peut entraîner une néphrotoxicité chez l'homme, principalement en raison d'anomalies de réabsorption tubulaire **(Jairoun et al., 2020)**.

III.4.3. Piège du dopage

Un grand danger lié à l'utilisation de suppléments est l'ingestion accidentelle de substances interdites par les codes antidopage en vigueur dans le sport d'élite, mais présentes dans les produits supplémentés **(Geyer et al., 2011)**. Une partie du règlement antidopage du Comité International Olympique dit : «Le dopage est l'administration ou l'usage par un athlète en compétition de toute substance étrangère à l'organisme ou de toute substance physiologique prise en quantité anormale ou par une voie d'entrée anormale dans l'organisme, dans l'intention d'augmenter de manière artificielle et déloyale sa performance en compétition. Lorsque la nécessité exige un traitement médical avec une substance qui, en raison de sa nature, de son dosage ou de son application, est capable d'améliorer les performances de l'athlète en compétition de manière artificielle et injuste, cela doit être considéré comme du dopage. » **(Clark, 1972)**.

Les principaux candidats au dopage accidentel avec des stimulants sont les produits contenant de l'éphédrine et ses analogues, la sibutramine et la méthylhexaneamine. Ces produits sont principalement présentés comme des brûleurs de graisse ou des stimulants de l'humeur, et leur utilisation peuvent conduire à des résultats positifs en matière de dopage en compétition. Dans certains cas, la concentration de ces substances interdites peut être trop faible pour avoir un effet sur la santé ou la performance, mais suffisamment élevée pour constater une infraction chez les athlètes qui se soumettent à des contrôles antidopage (**Geyer et al., 2011**). Il ne s'agit pas seulement de substances interdites : même la consommation de suppléments non interdits (comme la caféine, la créatine et le bicarbonate de sodium) à des doses supérieures à celles stipulées par l'agence peut constituer un facteur de risque de dopage (**Hurst et al., 2017**). Malgré une éducation approfondie des athlètes concernant l'étiquetage flou ou la variété des noms sous lesquels les substances interdites peuvent être désignées, de nombreux athlètes tombent encore dans ce piège du dopage (**Geyer et al., 2011**). Pour les athlètes de niveau professionnel, national ou international, même si l'ingestion de la substance interdite n'était pas intentionnelle, les règles de responsabilité stricte du Code mondial antidopage impliquent qu'un résultat d'analyse anormal sera enregistré, et peut entraîner la perte de médailles remportées ou de records établis, comme ainsi que des sanctions financières et/ou une suspension temporaire ou permanente de la compétition. Cela nuit également à la réputation de l'athlète et peut entraîner une perte d'emploi et de revenus en raison de l'échec des opportunités de parrainage (**Maughan et al., 2018**).

III.4.4. Déplacement des vraies priorités

Un résultat plus subtil du recours aux suppléments est le déplacement des véritables priorités de l'athlète. Une performance sportive réussie est le produit d'une génétique supérieure, d'un entraînement à long terme, d'une nutrition optimale, d'un sommeil et d'une récupération adéquats, d'un équipement de pointe et d'une attitude engagée. Ces facteurs ne peuvent pas être remplacés par l'utilisation de suppléments, mais semblent souvent moins excitants ou plus exigeants que les affirmations enthousiastes et émotives faites à propos de nombreux suppléments et aliments pour sportifs (**Burke et al., 2006**).

III.4.5. Effets indésirables

Les gens ignorent peut-être que l'utilisation à long terme de suppléments peut avoir des effets indésirables qui peuvent provenir d'un certain nombre de facteurs, notamment de la sécurité et de la composition du produit en soi et de modes d'utilisation inappropriés par les athlètes. Les mauvaises pratiques des athlètes incluent le mélange et l'association aveugles de nombreux produits sans tenir compte des doses totales de certains ingrédients ou des interactions problématiques entre les ingrédients. Même les produits couramment utilisés peuvent avoir des effets indésirables, surtout lorsqu'ils sont utilisés en dehors du protocole optimal (**Maughan et al., 2018 ; Martin et al., 2018**).

Tableau 15 : Les effets indésirables de quelques compléments alimentaires (**Maughan et al., 2018 ; Edenfield, 2020**).

Complément	Effets indésirables
Nitrate	Le nitrate n'est pas cancérigène, mais s'il est ingéré dans des conditions entraînant une nitrosation endogène (réaction des sources de nitrite avec des composés aminés), il peut entraîner un risque accru de cancer.
Omega-3	Temps de saignement prolongé à fortes doses (> 3 g/j)
Beta-Alanine	La paresthésie est le seul effet secondaire connu, provoqué par une élévation plasmatique aiguë de la bêta-alanine après une dose unique. Cet effet peut être diminué en divisant la dose quotidienne totale tout au long de la journée.
Fer	Nausée, vomissement, constipation, selle foncées et dyspepsie
Vitamine D	Une toxicité aiguë peut entraîner une anorexie, une perte de poids, une polyurie, des arythmies, des calcifications vasculaires et tissulaires et des calculs rénaux
Créatine	Une augmentation potentielle de 1 à 3 kg de la masse corporelle se produit avec la charge en créatine en raison d'une augmentation de l'eau corporelle totale, ce qui peut être indésirable dans certains sports.

Il n'existe aucune preuve que la créatine contribue aux crampes musculaires ou à la déshydratation

Caféine

Des doses de caféine plus importantes (≥ 9 mg/kg pc) augmentent les nausées, l'anxiété, l'insomnie et l'agitation

En fin de compte, la décision d'utiliser un supplément est un choix personnel fait par les athlètes. Avant de prendre une décision, les athlètes doivent considérer les avantages probables, mis en balance avec le coût du programme de supplémentation et le risque de résultats négatifs tels que des effets secondaires ou un résultat positif en matière de dopage. Ils doivent également être bien informés sur les manières spécifiques dont le complément sportif peut être utilisé pour atteindre des objectifs nutritionnels ou améliorer les performances. L'avis de scientifiques du sport ou d'autorités en nutrition sportive doit être recherché pour fournir de telles informations (**Burke et al., 2006**).

III.5. Législation

La réglementation des suppléments et des aliments pour sportifs est un domaine controversé. Il n'existe pas de système universel de réglementation des aliments et suppléments sportifs, et les pays diffèrent dans leur approche et leur pratique (**Molinero et Márquez, 2009**). Dans la plupart des pays, la législation concernant ces produits est soit minime, soit inappliquée, ce qui permet aux allégations non fondées de prospérer et à la fabrication de produits peu conformes aux normes d'étiquetage et de composition. Les athlètes doivent avoir une compréhension globale de la réglementation des compléments alimentaires, car les voyages réguliers et les commodités modernes telles que la vente par correspondance et Internet leur permettent d'accéder facilement à des produits qui échappent au contrôle du système de leur propre pays (**Burke et al., 2006**). Il est prévu que dans les années à venir, nous assisterons à une évolution législative cruciale dans ce domaine. Les règles s'adapteront à la large diffusion de l'usage de ces compléments et aux nombreux points qui n'ont pas encore été légiférés, en fonction de l'évolution du monde scientifique et des habitudes de la population (**Alonso et Fernandez-Garcia, 2020**).

III.5.1. Législation aux États-Unis

Aux États-Unis, selon le Dietary Supplement Health and Education Act (DSHEA), les compléments alimentaires sont définis comme des produits pris par voie orale, généralement vendus sous forme de capsules, de gels mous, de liquides, de poudres et de barres, et qui contiennent un ou plusieurs ingrédients alimentaires destiné à compléter l'alimentation. Les vitamines, les minéraux, les herbes, les extraits botaniques, les acides aminés et d'autres substances peuvent être considérés comme des ingrédients alimentaires. Les produits vendus comme compléments alimentaires doivent être clairement étiquetés comme tels. La FDA surveille ses processus de fabrication, sa qualité et son étiquetage, mais elle accorde un plus grand contrôle sur les suppléments contenant de nouveaux ingrédients alimentaires. Un nouvel ingrédient diététique est un ingrédient diététique qui n'était pas vendu aux États-Unis avant 1994. La FDA exige des informations de sécurité spécifiques de la part des fabricants ayant l'intention de commercialiser des compléments alimentaires contenant de nouveaux ingrédients diététiques. Les preuves de sécurité, qui peuvent inclure des études de toxicité *in vitro* et à long terme, ainsi que des études cliniques chez l'homme, doivent être fournies à la FDA. En ce qui concerne les allégations relatives à la santé et à la teneur en nutriments, les preuves d'efficacité doivent être soumises à la FDA pour approbation. Les autorités peuvent agir contre les entreprises qui font des déclarations fausses ou trompeuses ; et peut également retirer du marché des suppléments s'ils ne disposent pas de preuves scientifiques suffisantes pour démontrer la sécurité du produit. De plus, les entreprises sont désormais tenues d'enregistrer toutes les plaintes concernant les événements indésirables concernant leurs produits ; et doit signaler à la FDA tous ces événements indésirables graves (**Arenas-Jal *et al.*, 2020**).

III.5.2. Législation européenne

La directive 2002/46/CE établit dans son Article 2 que les « nutriments » sont soit des vitamines, soit des minéraux. De plus, il est spécifié que les compléments alimentaires sont des « denrées alimentaires dont le but est de compléter le régime alimentaire normal et qui constituent une source concentrée de nutriments ou d'autres substances ayant un effet nutritionnel ou physiologique seuls ou combinés, commercialisés sous forme de doses, à savoir les formes de présentation telles que les gélules, les pastilles, les comprimés, les pilules et autres formes similaires, ainsi que les sachets de poudre, les ampoules de liquide, les flacons munis d'un compte-

gouttes et les autres formes analogues de préparations liquides ou en poudre destinées à être prises en unités mesurées de faible quantité ». Dans son Article 5, la directive 2002/46/CE précise que les quantités maximales de vitamines et minéraux sont fixées par le fabricant selon les portions quotidiennes recommandées après une évaluation des risques grâce aux « données scientifiques généralement admises, compte tenu, le cas échéant, de la différence des niveaux de sensibilité de différents groupes de consommateurs » et une prise en compte des apports de référence en vitamines et minéraux. Pour vendre un complément alimentaire, dont le statut est reconnu par la directive 2002/46/CE, l'Article 6 établit que la mention « complément alimentaire » est obligatoire ainsi que les mentions suivantes : le nom des catégories de nutriments ou substances caractérisant le produit ou une indication relative à la nature de ces nutriments ou substances; la portion journalière de produit dont la consommation est recommandée; un avertissement contre le dépassement de la dose journalière indiquée; une déclaration visant à éviter que les compléments alimentaires ne soient utilisés comme substituts d'un régime alimentaire varié **(Cassar, 2016)**.

III.5.3. Législation en Algérie

En Algérie, les compléments alimentaires se sous tutelle de quatre ministères (Agriculture, Commerce, Industrie pharmaceutique et Santé) et sont définissent comme tout produit destiné à être ingéré et contenant un ingrédient diététique censé ajouter une valeur nutritionnelle au régime alimentaire (afin de le compléter) **(JORADP N°39, 2021)**.

Concernant les compléments alimentaires importés, L'article 12 du décret exécutif n° 12-203/2012 stipule que les produits qui ne sont pas commercialisés dans leur pays d'origine en raison de leur non-conformité aux exigences de sécurité ne peuvent être mis sur le marché national, et que les produits importés qui ne sont pas couverts par la réglementation nationale en matière d'exigences de sécurité doivent répondre aux exigences de sécurité en vigueur dans leurs pays d'origine ou de provenance **(JORADP N°28, 2012)**.

Pour les allégations, l'article 23 de l'arrêté interministériel N°25/2018 mentionne que l'allégation nutritionnelle doit reposer sur des preuves scientifiques généralement admises et justifiées. L'intervenant qui mentionne une allégation

nutritionnelle doit justifier son emploi. l'emploi d'une allégation nutritionnelle n'est permis que si l'on peut s'attendre à ce que le consommateur moyen comprenne les effets bénéfiques exposés dans l'allégation, enfin l'utilisation de toute allégation de santé est conditionnée par l'accord préalable des services habilités chargés de la santé et ce, conformément à la législation et à la réglementation en vigueur (**JORADP N°25, 2018**).

Conclusion et perspectives

L'industrie des suppléments nutritionnels et des suppléments destinés aux athlètes, en particulier, est l'industrie la plus prospère et la plus populaire de ces dernières années et ses revenus sont estimés à des millions de dollars, soutenus par la publicité, la compétition intense entre athlètes et certains des avantages réels que certains de ces suppléments fournissent. Dans notre mémoire, nous avons essayé d'être justes et de donner une image fidèle de ces produits, en termes de points positifs et négatifs, dont nous espérons que les athlètes algériens seront pleinement conscients afin qu'ils ne tombent pas dans le piège de la publicité mensongère et du problème de dopage qui mettent leur santé en danger et peuvent dans le pire des cas, un terme à leur carrière sportive. En fin de compte, nous souhaitons que la communauté scientifique algérienne accorde davantage d'attention à l'étude de ces suppléments et fournira aux athlètes toutes les informations importantes les concernant. Nous souhaitons également que leur industrie locale prospère aux lois et réglementations internationales.

Références bibliographiques

Abd-ElGawad, A. M., Rashad, Y. M., Abdel-Azeem, A. M., Al-Barati, S. A., Assaeed, A. M., & Mowafy, A. M. (2020). Calligonum polygonoides L. shrubs provide species-specific facilitation for the understory plants in coastal ecosystem. *Biology*, 9(8), 232.

Abid, S., Amor, B. B., Marmouch, H., Sayadi, H., & Kochteli, I. (2020, September). Insuffisance hypophysaire: impact du sport intensif ou des compléments alimentaires?. In *Annales d'Endocrinologie* (Vol. 81, No. 4, p. 286). Elsevier Masson.

Akram, M., Asif, H. M., Uzair, M., Akhtar, N., Madni, A., Shah, S. A., ... & Ullah, A. (2011). Amino acids: A review article. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(17), 3997-4000.

Alonso, M. R., & Fernández-García, B. (2020). Evolution of the use of sports supplements. *PharmaNutrition*, 14, 100239.

ANSES. 2011. « Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras ». <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2006sa0359Ra.pdf>. (Page consultée le 03/06/2019)

ANSES. 2016. « Actualisation des repères du PNNS : élaboration des références nutritionnelles ». <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012SA0103Ra-2.pdf>. (Page consultée le 04/05/2019)

Arenas-Jal, M., Suñé-Negre, J. M., Pérez-Lozano, P., & García-Montoya, E. (2020). Trends in the food and sports nutrition industry: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(14), 2405-2421.

Artym, J., & Zimecki, M. (2013). Milk-derived proteins and peptides in clinical trials. *Advances in Hygiene and Experimental Medicine*, 67, 800-816.

Asp, N. G. (1996). Dietary carbohydrates: classification by chemistry and physiology. *Food chemistry*, 57(1), 9-14.

Atallah, N. (2021). *Caractérisation nutritionnelle en modèles in vitro et in vivo, de protéines laitières d'assemblages moléculaires différents* (Doctoral dissertation, université Paris-Saclay).

Bagwe, S., Tharappel, L. J. P., Kaur, G., Buttar, H. S. (2015). Bovine colostrum: an emerging nutraceutical. *J. Compl. Integr. Med.*, 12(3), 175-185.

Bajželj, B., Laguzzi, F., & Rööös, E. (2021). The role of fats in the transition to sustainable diets. *The Lancet Planetary Health*, 5(9), e644-e653.

- Balabanova, L., Averianova, L., Marchenok, M., Son, O., & Tekutyeva, L. (2021). Microbial and genetic resources for cobalamin (vitamin B12) biosynthesis: From ecosystems to industrial biotechnology. *International journal of molecular sciences*, 22(9), 4522.
- Ball, G. F. (2005). *Vitamins in foods: analysis, bioavailability, and stability*. CRC press.
- Baylis, A., Cameron-Smith, D., & Burke, L.M. (2001). Inadvertent doping through supplement use by athletes: Assessment and management of the risk in Australia. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 11(3), 365–383.
- Beck, K. L., Thomson, J. S., Swift, R. J., & Von Hurst, P. R. (2015). Role of nutrition in performance enhancement and postexercise recovery. *Open access journal of sports medicine*, 259-267.
- Berning, J. R. (1996). The role of medium-chain triglycerides in exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 6(2), 121-133.
- Bier, D. M., Mann, J., Alpers, D. H., Vorster, H. E., & Gibney, M. J. (Eds.). (2014). *Nutrition for the primary care provider*. Karger Medical and Scientific Publishers.
- Boirie, Y., Dangin, M., Gachon, P., Vasson, M. P., Maubois, J. L., & Beaufrère, B. (1997). Slow and fast dietary proteins differently modulate postprandial protein accretion. *Proceedings of the national academy of sciences*, 94(26), 14930-14935.
- Boukid, F. (2021). Oat proteins as emerging ingredients for food formulation: where we stand?. *European Food Research and Technology*, 247(3), 535-544.
- Brancaccio, M., Mennitti, C., Cesaro, A., Fimiani, F., Vano, M., Gargiulo, B., ... & Scudiero, O. (2022). The biological role of vitamins in athletes' muscle, heart and microbiota. *International journal of environmental research and public health*, 19(3), 1249.
- Brass, E. P. (2004). Carnitine and sports medicine: use or abuse?. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1033(1), 67-78.
- Braun, H., Koehler, K., Geyer, H., Kleiner, J., Mester, J., & Schanzer, W. (2009). Dietary supplement use among elite young German athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 19(1), 97–109.
- Bremer, J. (1983). Carnitine--metabolism and functions. *Physiological reviews*, 63(4), 1420-1480.

- Buchman, A. L. (2001). Glutamine: commercially essential or conditionally essential? A critical appraisal of the human data. *The American journal of clinical nutrition*, 74(1), 25-32.
- Burke, L. M. (2019). Supplements for optimal sports performance. *Current Opinion in Physiology*, 10, 156-165.
- Burke, L., Cort, M., Cox, G., Crawford, R., Desbrow, B., Farthing, L., ... & Warnes, O. (2006). Supplements and sports foods. *Clinical sports nutrition*, 3, 485-580.
- Carella, P., Cerullo, G., Di Dio, M., Liguori, F., Di Onofrio, V., Gallè, F., & Liguori, G. (2022). Antioxidant, anti-inflammatory and immunomodulatory effects of spirulina in exercise and sport: A systematic review. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1048258.
- Cassar, M. A. (2016). La culture des macromycètes entrant dans la composition des compléments alimentaires. *Diplôme d'état de docteur en Pharmacie. Montpellier: Université de Montpellier*.
- Chamberlain, K. (2004). Food and health: Expanding the agenda for health psychology. *Journal of health psychology*, 9(4), 467-481.
- Chebaiki, I. J., Bekadi, A., & Bechikh, M. Y. (2020). Sports supplements: use, knowledge, and risks for Algerian athletes. *The North African Journal of Food and Nutrition Research*, 4(7), 231-239.
- Chen, C. K., Muhamad, A. S., & Ooi, F. K. (2012). Herbs in exercise and sports. *Journal of physiological anthropology*, 31(1), 1-7.
- CLARK N. (2015). Nutrition du sportif. Paris, France, Vigot, p: 381.
- Clark, K. (1972). Drugs and the Coach. *Washington, DC: American Alliance for Health, Physical Education and Recreation*, p. 28.
- Clarkson, P. M. (1991). Minerals: exercise performance and supplementation in athletes. *Journal of Sports Sciences*, 9(S1), 91-116.
- Clemesha, C. G., Thaker, H., & Samplaski, M. K. (2020). 'Testosterone boosting' supplements composition and claims are not supported by the academic literature. *The World Journal of Men's Health*, 38(1), 115-122.
- Clifford, J., & Maloney, K. (2015). Nutrition for athletes. *Colorado State: University Extension*.
- Close, G. L., Kasper, A. M., Walsh, N. P., & Maughan, R. J. (2022). "Food first but not always food only": recommendations for using dietary supplements in sport. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 32(5), 371-386.

Colette, C., & Monnier, L. (2011). Acides gras: classification, fonction et équilibre entre les différentes familles: Fatty acids: Classification, function and balance between the different families. *Médecine des maladies Métaboliques*, 5(3), 237-245.

Cornillier, Y., Korsia-Meffre, S., & Senart, S. (2008). *Le guide des compléments alimentaires: [antioxydants, oméga 3, vitamines, minéraux...]*. Vidal.

Coste, O. (2017). 2 Prise d'un médicament interdit: procédures et recommandations. *Dopage: Comprendre et prévenir*, 296.

Craig, B. W. (1993). The influence of fructose feeding on physical performance. *The American journal of clinical nutrition*, 58(5), S815-S819.

Cui, P., Li, M., Yu, M., Liu, Y., Ding, Y., Liu, W., & Liu, J. (2022). Advances in sports food: Sports nutrition, food manufacture, opportunities and challenges. *Food Research International*, 157, 111258.

Cummings, J. H., & Stephen, A. M. (2007). Carbohydrate terminology and classification. *European journal of clinical nutrition*, 61(1), S5-S18.

Daba, S. D., & Morris, C. F. (2022). Pea proteins: Variation, composition, genetics, and functional properties. *Cereal chemistry*, 99(1), 8-20.

De Kruif, C. G., & Holt, C. (2003). Casein micelle structure, functions and interactions. In *Advanced dairy chemistry—1 proteins: part a/part b* (pp. 233-276). Boston, MA: Springer US.

Deldicque, L., & Francaux, M. (2016). Potential harmful effects of dietary supplements in sports medicine. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care*, 19(6), 439-445.

Deloy, L. (2017). Compléments et produits alimentaires chez le sportif : consommation, risques et importance du conseil officinal. Sciences pharmaceutiques. hal-01931819

Derave, W., & Tipton, K. D. (2014). Dietary supplements for aquatic sports. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 24(4), 437-449.

Didier, R. (2019). *Sports d'endurance et nutrition: macro ou micronutriments?* (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).

Dini, I., & Mancusi, A. (2023). Weight Loss Supplements. *Molecules*, 28(14), 5357.

Dupuy, O., Douzi, W., Theurot, D., Bosquet, L., & Dugué, B. (2018). An evidence-based approach for choosing post-exercise recovery techniques to reduce markers of

muscle damage, soreness, fatigue, and inflammation: a systematic review with meta-analysis. *Frontiers in physiology*, 403.

Edenfield, K. M. (2020). Sports supplements: Pearls and pitfalls. *Primary Care: Clinics in Office Practice*, 47(1), 37-48.

Edori, O. S., & Marcus, A. C. (2017). Phytochemical screening and physiologic functions of metals in seed and peel of *Citrullus lanatus* (Watermelon). *International Journal of Green and Herbal Chemistry*, B, 6(1), 35-46.

Eichner, E. R., King, D., Myhal, M., Prentice, B., & Ziegenfuss, T. N. (1999). Muscle builder supplements. *Sports Sci Exchange Roundtable*, 10, 1-4.

Englyst, K. N., Liu, S., & Englyst, H. N. (2007). Nutritional characterization and measurement of dietary carbohydrates. *European journal of clinical nutrition*, 61(1), S19-S39.

Garthe, I., & Maughan, R. J. (2018). Athletes and supplements: prevalence and perspectives. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 28(2), 126-138.

Geyer, H., Braun, H., Burke, L. M., Stear, S. J., & Castell, L. M. (2011). A-Z of nutritional supplements: dietary supplements, sports nutrition foods and ergogenic aids for health and performance—Part 22. *British journal of sports medicine*, 45(9), 752-754.

Godhia, M. L., Patel, N. (2013). Colostrum – its composition, benefits as a nutraceutical. A review. *Curr. Res. Nutr. Food Sci.*, 1(1), 37-47.

Godswill, A. G., Somtochukwu, I. V., Ikechukwu, A. O., & Kate, E. C. (2020). Health benefits of micronutrients (vitamins and minerals) and their associated deficiency diseases: A systematic review. *International Journal of Food Sciences*, 3(1), 1-32.

Guha, S., Majumder, K., & Mine, Y. (2019). Egg proteins. *Encyclopedia of food chemistry*, 74-84.

Guo, M. (Ed.). (2019). «Whey» protein production, chemistry, functionality, and applications. John Wiley & Sons.

Heikkinen, A., Alaranta, A., Helenius, I., & Vasankari, T. (2002). Use of dietary supplements in Olympic athletes is decreasing: A follow-up study between 2002 and 2009. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 8(1), 1.

Hellwinkel D (2001). *Systematic Nomenclature of Organic Chemistry*, Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, Germany, pp. 209-210.

Hidiroglou, M. (1980). Zinc, copper and manganese deficiencies and the ruminant skeleton: A review. *Canadian Journal of Animal Science*, 60(3), 579-590.

- Hoffman, J. R., & Falvo, M. J. (2004). Protein—which is best?. *Journal of sports science & medicine*, 3(3), 118.
- Hofman, D. L., Van Buul, V. J., & Brouns, F. J. (2016). Nutrition, health, and regulatory aspects of digestible maltodextrins. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(12), 2091-2100.
- Hopkins, W. G., Hawley, J. A., & Burke, L. M. (1999). Design and analysis of research on sport performance enhancement. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(3), 472-485.
- Hopkins, W. G., Hawley, J. A., & Burke, L. M. (1999). Design and analysis of research on sport performance enhancement. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(3), 472-485.
- Huang, W. E., Yang, C., Wang, H., Bai, L., & Zhou, N. Y. (2021). Microbiology Biotechnology in China. *Microbial Biotechnology*, 14(2), 322.
- Huecker, M., Sarav, M., Pearlman, M., & Laster, J. (2019). Protein supplementation in sport: source, timing, and intended benefits. *Current nutrition reports*, 8, 382-396.
- Hülsemann, F., Flenker, U., Parr, M., Geyer, H., & Schänzer, W. (2011). Authenticity control and identification of origin of synthetic creatine-monohydrate by isotope ratio mass spectrometry. *Food chemistry*, 125(2), 767-772.
- Hurst, P., Foad, A., Coleman, D., & Beedie, C. (2017). Development and validation of the sports supplements beliefs scale. *Performance enhancement & health*, 5(3), 89-97.
- Huskisson, E., Maggini, S., & Ruf, M. (2007). The role of vitamins and minerals in energy metabolism and well-being. *Journal of international medical research*, 35(3), 277-289.
- Ikeda, S. K., Finzer, J. R. D., & Teixeira, E. P. (2022). Industrial Maltodextrin Production and Impacts on Dryer and Product Performance. *American Academic Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*. 85 (1), 23-40.
- Jairoun, A. A., Shahwan, M., & Zyoud, S. E. H. (2020). Heavy metal contamination of dietary supplements products available in the UAE markets and the associated risk. *Scientific Reports*, 10(1), 18824.
- Jalolov, N. N., Imamova, A. O., & Sulstonov, E. Y. (2023). Proper nutrition of athletes, martial arts.
- Jeukendrup, A. E., & Randell, R. (2011). Fat burners: nutrition supplements that increase fat metabolism. *Obesity reviews*, 12(10), 841-851.

- Johnson, R. J., & Murray, R. (2010). Fructose, exercise, and health. *Current Sports Medicine Reports*, 9(4), 253-258.
- Karaca, A. C., Low, N., & Nickerson, M. (2011). Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction. *Food research international*, 44(9), 2742-2750.
- Kerksick, C. M. (2019). Requirements of proteins, carbohydrates, and fats for athletes. In *Nutrition and enhanced sports performance* (pp. 443-459). Academic Press.
- Kim, W. K., Singh, A. K., Wang, J., & Applegate, T. (2022). Functional role of branched chain amino acids in poultry: a review. *Poultry science*, 101(5), 101715.
- Kreplak, J., Madoui, M.-A., Cápál, P., Novák, P., Labadie, K., Aubert, G., Bayer, P. E., Gali, K. K., Syme, R. A., Main, D., Klein, A., Bérard, A., Vrbová, I., Fournier, C., d'Agata, L., Belser, C., Berrabah, W., Toegelová, H., Milec, Z., ... Burstin, J. (2019). A reference genome for pea provides insight into legume genome evolution. *Nature Genetics*, 51, 1411-1422.
- Li-Chan, E. and Nakai, S. (1989). Biochemical basis for the properties of egg white. *Crit. Rev. Poult. Biol.* 2:21-58.
- Li-Chan, E.C.Y. and Kim, H.O. (2008). Structure and chemical composition of eggs. In: Mine, Y. (ed) *Egg Bioscience and Biotechnology*. Hoboken, NY: John Wiley & Sons, Inc. pp. 1-95.
- Lisnawati, N., Amin, N., & Lestari, Y. N. (2023, January). Sport drink containing maltodextrin to improve physical performance of Soccer athletes. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2586, No. 1). AIP Publishing.
- Loraine, K. (2018). Supplement regulation for sports nutrition supplements. *Journal of Legal Medicine*, 38(2), 271-285.
- Lu, Z. X., He, J. F., Zhang, Y. C., & Bing, D. J. (2020). Composition, physicochemical properties of pea protein and its application in functional foods. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(15), 2593-2605.
- Lukaski, H. C. (2004). Vitamin and mineral status: effects on physical performance. *Nutrition*, 20(7-8), 632-644.
- Mäkinen, O. E., Sozer, N., Ercili-Cura, D., & Poutanen, K. (2017). Protein from oat: structure, processes, functionality, and nutrition. In *Sustainable protein sources* (pp. 105-119). Academic Press.

- Manjaya, J.G., Suseelan, K.N., Gopalakrishna, T., Pawar, S.E., and Bapat, V.A. (2007). Radiation induced variability of seed storage proteins in soybean [Glycine max (L.) Merrill]. *Food Chem.* 100:1324–1327.
- Martin, S. J., Sherley, M., & McLeod, M. (2018). Adverse effects of sports supplements in men. *Australian prescriber*, 41(1), 10.
- Maughan, R. J. (1999). Role of micronutrients in sport and physical activity. *British medical bulletin*, 55(3), 683-690.
- Maughan, R. J., Burke, L. M., Dvorak, J., Larson-Meyer, D. E., Peeling, P., Phillips, S. M., ... & Engebretsen, L. (2018). IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 28(2), 104-125.
- Maughan, R. J., Depiesse, F., & Geyer, H. (2007). The use of dietary supplements by athletes. *Journal of sports sciences*, 25(S1), S103-S113.
- Mayes, P. A. (1993). Intermediary metabolism of fructose. *The American journal of clinical nutrition*, 58(5), 754S-765S.
- McGrath, B. A., Fox, P. F., McSweeney, P. L., & Kelly, A. L. (2016). Composition and properties of bovine colostrum: a review. *Dairy Science & Technology*, 96, 133-158.
- Meijaard, E., Abrams, J. F., Slavin, J. L., & Sheil, D. (2022). Dietary fats, human nutrition and the environment: Balance and sustainability. *Frontiers in Nutrition*, 9, 878644.
- Molinero, O., & Márquez, S. (2009). Use of nutritional supplements in sports: risks, knowledge, and behavioural-related factors. *Nutricion hospitalaria*, 24(2), 128-134.
- Muñoz-Maldonado, G. E., Gómez-Renaud, V. M., Garza-Ocañas, L., & Badillo-Castañeda, C. T. (2022). Sports supplements: a health risk?. *Biotechnia*, 24(1), 122-132.
- Naclerio, F., & Larumbe-Zabala, E. (2016). Effects of «Whey» protein alone or as part of a multi-ingredient formulation on strength, fat-free mass, or lean body mass in resistance-trained individuals: a meta-analysis. *Sports Medicine*, 46, 125-137.
- Naderi, A., de Oliveira, E. P., Ziegenfuss, T. N., & Willems, M. E. (2016). Timing, optimal dose and intake duration of dietary supplements with evidence-based use in sports nutrition. *Journal of exercise nutrition & biochemistry*, 20(4), 1.
- Neinast, M., Murashige, D., & Arany, Z. (2019). Branched chain amino acids. *Annual review of physiology*, 81, 139-164.
- Nie, C., He, T., Zhang, W., Zhang, G., & Ma, X. (2018). Branched chain amino acids: beyond nutrition metabolism. *International journal of molecular sciences*, 19(4), 954

Nieman, D. C. (1994). Exercise, infection, and immunity. *International journal of sports medicine*, 15(S 3), S131-S141.

Ochi, E., & Tsuchiya, Y. (2018). Eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) in muscle damage and function. *Nutrients*, 10(5), 552.

Orrù, S., Imperlini, E., Nigro, E., Alfieri, A., Cevenini, A., Polito, R., ... & Mancini, A. (2018). Role of functional beverages on sport performance and recovery. *Nutrients*, 10(10), 1470.

Peeling, P., Castell, L. M., Derave, W., de Hon, O., & Burke, L. M. (2019). Sports foods and dietary supplements for optimal function and performance enhancement in track-and-field athletes. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 29(2), 198-209.

Pereira, P. C. (2014). Milk nutritional composition and its role in human health. *Nutrition*, 30(6), 619-627.

Piattoly, T. J. (2022). Dietary supplement safety: risk vs reward for athletes. *Operative Techniques in Sports Medicine*, 30(1), 150891.

Pitkanen HT, Nykanen T, Knuutinen J, Lahti K, Keinanen O, Alen M, Komi PV, Mero AA. 2003. Free amino acid pool and muscle protein balance after resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 35:784–92

Playford, R. J., & Weiser, M. J. (2021). Bovine colostrum: Its constituents and uses. *Nutrients*, 13(1), 265.

Poddar, K., Kolge, S., Bezman, L., Mullin, G. E., & Cheskin, L. J. (2011). Nutraceutical supplements for weight loss: a systematic review. *Nutrition in Clinical Practice*, 26(5), 539-552.

Rana, K. L., Kour, D., & Yadav, A. N. (2019). Endophytic microbiomes: biodiversity, ecological significance and biotechnological applications. *Res J Biotechnol*, 14(10), 142-162.

Rautiainen, S., Manson, J. E., Lichtenstein, A. H., & Sesso, H. D. (2016). Dietary supplements and disease prevention—a global overview. *Nature Reviews Endocrinology*, 12(7), 407-420.

Rawson, E. S., Miles, M. P., & Larson-Meyer, D. E. (2018). Dietary supplements for health, adaptation, and recovery in athletes. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 28(2), 188-199.

- Rubin, M. R., Volek, J. S., Gomez, A. L., Ratamess, N. A., French, D. N., Sharman, M. J., & Kraemer, W. J. (2001). Safety measures of L-carnitine L-tartrate supplementation in healthy men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 15(4), 486-490.
- Scot R, Leonard S, (2006). New functions for amino acids: effects on gene transcription and translation. *Am. J. Clin. Nut.*, 83(2): 500-507.
- Shing, C. M., Hunter, D., Stevenson, L. (2009). Bovine colostrum supplementation and exercise performance: potential mechanisms. *Sports Med.*, 39(12), 1033–1054.
- Slater, G. J., & Jenkins, D. (2000). β -hydroxy- β -methylbutyrate (HMB) supplementation and the promotion of muscle growth and strength. *Sports Medicine*, 30, 105-116.
- Smith, A. L., & Tan, P. (2006). Creatine synthesis: An undergraduate organic chemistry laboratory experiment. *Journal of chemical education*, 83(11), 1654.
- Speich, M., Pineau, A., & Ballereau, F. (2001). Minerals, trace elements and related biological variables in athletes and during physical activity. *Clinica Chimica Acta*, 312(1-2), 1-11.
- Stevens, S. L. (2021). Fat-soluble vitamins. *Nursing Clinics*, 56(1), 33-45.
- Sung, D. J., Kim, S., Kim, J., An, H. S., & So, W. Y. (2016). Role of l-carnitine in sports performance: Focus on ergogenic aid and antioxidant. *Science & Sports*, 31(4), 177-188.
- Szczęśniak, K. A., Ostaszewski, P., Fuller Jr, J. C., Ciecierska, A., & Sadkowski, T. (2015). Dietary supplementation of β -hydroxy- β -methylbutyrate in animals—a review. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 99(3), 405-417.
- Tang JE, Manolagos JJ, Kujbida GW, Lysecki PJ, Moore DR, Phillips SM. 2007. Minimal «Whey» protein with carbohydrate stimulates muscle protein synthesis following resistance exercise in trained young men. *Appl Physiol Nutr Metab*. 32:1132–138.
- Touitou, P. Y. (2005). Biochimie: structure des glucides et lipides. *PAES. Pierre et Marie Curie*, 48p.
- Tsarouhas, K., Kioukia-Fougia, N., Papalexis, P., Tsatsakis, A., Kouretas, D., Bacopoulou, F., Tsitsimpikou, C. 2018. Use of nutritional supplements contaminated with banned doping substances by recreational adolescent athletes in Athens, Greece. *Food and Chemical Toxicology*. 115: 447-450.

- USDEC (2006). Milk Protein Ingredients. U.S. Dairy Export Council. Arlington, VA.
- Valente-Mesquita, V.L., Botelho, M.M., and Ferreira, S.T. (1998). Pressure-induced subunit dissociation and unfolding of β -lactoglobulin. *Biophys. J.* 75:471–476.
- Ustunol, Z. (2014). Overview of Food Proteins. *Applied Food Protein Chemistry*, 5-9.
- Vasudevan, D. M., Sreekumari, S., & Vaidyanathan, K. (2013). *Textbook of biochemistry for medical students*. JP Medical Ltd.
- Volpe, S. L. (2007). Micronutrient requirements for athletes. *Clinics in sports medicine*, 26(1), 119-130.
- Wallis, G. A., & Wittekind, A. (2013). Is there a specific role for sucrose in sports and exercise performance?. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 23(6), 571-583.
- Wang, Y., Tibbetts, S. M., & McGinn, P. J. (2021). Microalgae as sources of high-quality protein for human food and protein supplements. *Foods*, 10(12), 3002.
- Wiens, K., Erdman, K.A., Stadnyk, M., & Parnell, J.A. (2014). Dietary supplement usage, motivation, and education in young, Canadian athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 24(6), 613–622.
- Wilkinson, D. J., Hossain, T., Hill, D. S., Phillips, B. E., Crossland, H., Williams, J., ... & Atherton, P. J. (2013). Effects of leucine and its metabolite β -hydroxy- β -methylbutyrate on human skeletal muscle protein metabolism. *The Journal of physiology*, 591(11), 2911-2923.
- Williams, M. (2005). Dietary supplements and sports performance: amino acids. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2(2), 63.
- Williams, M. (2006). Dietary supplements and sports performance: metabolites, constituents, and extracts. *Journal of the international society of sports nutrition*, 3(2), 1.
- Williams, M. H., & Branch, J. D. (1998). Creatine supplementation and exercise performance: an update. *Journal of the American College of Nutrition*, 17(3), 216–234.
- World Health Organization. (2003). Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases.