

Quels sont les effets de la supplémentation en vitamines C et E sur la performance sportive d'endurance ?

Travail de Bachelor

Borlat Clélia, n° matricule 17593419
Richoz Caroline, n° matricule 17593286

Directrice de TBSc

Madame Maaïke Kruseman

PhD, Professeure HES associée

Haute école de santé de Genève, filière nutrition et diététique, Genève

Membre du Jury

Monsieur Virgile Lecoultré

Docteur en physiologie

Hôpital Intercantonal de la Broye, Estavayer-le-Lac

Genève, juillet 2020

Table des matières

Abréviations	5
Résumé.....	7
1 Introduction	8
2 Cadre de référence	9
2.1 Activité physique et sport.....	9
2.2 Mécanismes énergétiques.....	9
2.2.1 Production d'énergie	9
2.2.2 Systèmes énergétiques lors d'une activité physique	10
2.3 Radicaux libres et stress oxydatif	12
2.3.1 Impact de l'activité physique sur le stress oxydatif	13
2.4 Antioxydants.....	13
2.4.1 Supplémentation vs complémentation	13
2.4.2 Recommandations pour la population générale	14
2.4.3 Spécificités des vitamines C et E.....	14
2.4.4 Supplémentation en antioxydants dans une pratique sportive	15
2.4.5 Effets indésirables d'une supplémentation en antioxydants	17
2.5 Comment mesurer la performance ?.....	17
2.5.1 Test d'effort par paliers avec mesure de la lactatémie	17
2.5.2 Test de VO ₂ max.....	18
2.5.3 Test de capacité.....	19
2.5.4 Test de force	20
2.5.5 Mesures des dommages musculaires liés à l'exercice physique.....	20
2.5.6 Méthodes de mesures de marqueurs du stress oxydatif	21
3 Définition de l'étude.....	22
3.1 Question de recherche.....	22
3.2 But du travail.....	22
4 Méthodes	23
4.1 Critères d'inclusion et d'exclusion	23
4.1.1 Design des études	23
4.1.2 Population	23
4.1.3 Intervention	23
4.1.4 Outcome	24
4.1.5 Résumé des critères d'inclusion et d'exclusion	24
4.2 Mots-clés	24
4.3 Sélection des articles.....	26
4.4 Extraction des données	27
5 Résultats.....	28
5.1 Sélection des études.....	28

5.2	Résultats descriptifs	29
5.2.1	Caractéristiques des études	32
5.2.2	Caractéristiques de la population.....	32
5.2.3	Caractéristiques de l'intervention.....	33
5.2.4	Test de performance	34
5.2.5	Résultats et synthèse.....	36
5.3	Résultats qualitatifs	39
5.3.1	Description de la grille.....	39
5.3.2	Analyse des critères pertinents	39
5.3.3	Synthèse	40
6	Discussion.....	41
6.1	Rappel des résultats saillants	41
6.2	Amélioration des performances.....	41
6.3	Protéines et gènes.....	41
6.4	Surdosage	41
6.5	Taux plasmatique des vitamines C et E	42
6.6	Carences du sportif.....	42
6.7	Besoins augmentés du sportif.....	43
6.8	Méthodologie	43
6.9	Sportifs d'élite.....	44
6.10	Population âgée.....	44
6.11	Biais et limites de notre travail.....	44
6.12	Biais et limites des travaux inclus	45
6.13	Impact sur nos résultats	45
6.14	Nos points forts	46
7	Perspectives.....	48
8	Conclusion	49
9	Remerciements	50
10	Bibliographie.....	51
11	Annexes.....	56
	Annexe I : Protocole de Travail de Bachelor.....	56
	Annexe II : Tableau de Gantt.....	56
	Annexe III : Grille d'analyse descriptive	56
	Annexe IV : Grille d'analyse de la qualité	56

Les prises de position, la rédaction et les conclusions de ce travail n'engagent que la responsabilité de ses auteures et en aucun cas celle de la Haute école de santé de Genève, du Jury ou de la Directrice de Travail de Bachelor.

Nous attestons avoir réalisé seules le présent travail, sans avoir utilisé d'autres sources que celles mentionnées dans la liste des références bibliographiques.

Juillet 2020

Borlat Clélia et Richoz Caroline

Abréviations

ADN	Acide désoxyribonucléique
ADP	Adénosine diphosphate
AMP	Adénosine monophosphate
ANC	Apport nutritionnel conseillé
AOX	Antioxydant
AST	Aspartate transaminase
ATP	Adénosine triphosphate
CC16	Clara cell protein 16 (protéine des cellules de Clara 16)
CDC42	Cell division control protein 42 homolog (homologue de la protéine de contrôle de la division cellulaire 42)
CK	Creatine kinase (créatine kinase)
CONC.	Concentration
COX4	Cytochrome c oxidase subunit 4 (sous-unité 4 du cytochrome c oxydase)
CP	Carbonylated proteins (protéines carbonylées)
DOMS	Delayed Onset Muscle Soreness (douleurs musculaires d'apparition retardée)
ECR	Essai contrôlé randomisé
ET	Écart-type
F	Femme
H	Homme
HSP60	Heat shock proteins 60 (protéines de choc thermique 60)
HSP70	Heat shock proteins 70 (protéines de choc thermique 70)
INT.	Groupe intervention
J	Jour
KM	Kilomètre
KM/H	Kilomètre à l'heure
M	Mètre
MAPK1	Mitogen-activated protein kinase 1 (protéine MAP kinase 1)
MAX.	Maximum
M-RNA	Messenger ribonucleic nucleic acid (acide ribonucléique messenger)
MDA	Malondialdehyde (malondialdéhyde)
MG	Milligramme
MIN	Minute

N	Nombre de participants
NBRE	Nombre
OMS	Organisation mondiale de la santé
P. EX.	Par exemple
PGC-1a	Peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1a (protéine PGC-1a)
PLA.	Groupe placebo
RER	Respiratory exchange ratio (rapport d'échange respiratoire)
RPM	Revolution per minute (tour par minute)
S	Seconde
SEM.	Semaine
TTE	Time to exhaustion (temps jusqu'à épuisement)
TEAC	Trolox equivalent antioxidant capacity (capacité antioxydante de Trolox)
VIT.	Vitamine

Résumé

Introduction : Nombreux sont les sportifs d'élite ou amateurs qui consomment des suppléments alimentaires dont des antioxydants, dans le but d'améliorer leur performance. La logique selon laquelle un apport supplémentaire d'antioxydants serait bénéfique dans le sport est liée au concept de "stress oxydatif". Lorsque le corps est exposé à des agressions comme le tabac, la pollution ou également l'activité physique, des radicaux libres sont formés. Ces molécules sont instables et altèrent certaines fonctions physiologiques. L'organisme se protège contre celles-ci par le biais d'antioxydants endogènes, mais aussi exogènes telles que notamment les vitamines C et E provenant du bol alimentaire. Dans le cadre d'un exercice physique, lorsque les mécanismes antioxydants sont insuffisants, le stress oxydatif peut avoir des effets délétères, mais il joue aussi un rôle positif dans l'amélioration de la récupération après l'effort. Les antioxydants, en réduisant le stress oxydatif lié à l'exercice physique, permettraient une amélioration des performances physiques.

But : Le but de notre travail était d'évaluer si une supplémentation en vitamines C et/ou E permettait une amélioration de la performance physique dans la pratique d'un sport d'endurance. Nous voulions identifier les particularités des supplémentations et leurs éventuels impacts sur la performance physique, et observer les différences ou similitudes d'effet selon les caractéristiques des populations étudiées. Enfin, nous souhaitions aussi suggérer des recommandations pratiques et spécifiques à l'exercice de notre profession de diététicienne.

Méthode : Nous avons réalisé une revue de littérature (quasi) systématique. Les principaux critères d'inclusion étaient un design d'essai contrôlé randomisé, les sports d'endurance, la supplémentation en vitamines C et/ou E et l'évaluation de la performance par un test de capacité. Nos recherches ont été effectuées sur les bases de données PubMed et Embase.

Résultats : Six études correspondaient aux critères et ont été analysées. Trois études avaient un niveau de qualité neutre et trois un score de qualité positif. Aucune étude n'a démontré d'amélioration statistiquement significative de la performance d'endurance lors d'une supplémentation en vitamine C ou E. Le nombre de participants, l'âge, le niveau d'entraînement, le sport pratiqué, les doses administrées et la durée de la supplémentation ne semblaient pas avoir d'impact sur les résultats.

Conclusion : Ce travail nous incite à la prudence quant à la supplémentation en vitamine C ou E dans un but d'amélioration de la performance sportive d'endurance. L'impact de ces vitamines antioxydantes semblerait être négligeable sur la performance. Avant d'avoir recours à une supplémentation, l'alimentation du sportif devrait être adéquate, tant au niveau de sa qualité que de sa quantité.

Mots-clés : *Athlete ; Exercise ; Physical endurance ; Sports, Antioxidants ; Elite ; Amateur ; Vitamin C ; Acid ascorbic ; Vitamin E ; Athletic performance ; Physical functional performance ; Exercise test ; Hand strength ; Recovery of function ; Muscle fatigue ; Muscle contraction ; Muscle weakness.*

Athlète ; Exercice physique ; Endurance physique ; Sports ; Antioxydants ; Elite ; Amateur ; Vitamine C ; Acide ascorbique ; Vitamine E ; Performance sportive ; Performance fonctionnelle physique ; Épreuve d'effort ; Force de la main ; Récupération fonctionnelle ; Fatigue musculaire ; Contraction musculaire ; Faiblesse musculaire.

1 Introduction

Notre travail de Bachelor est l'aboutissement de notre formation en nutrition et diététique, qui nous permettra d'exercer la profession de diététicienne. Le présent travail traite des effets de la supplémentation en antioxydants sur la performance sportive d'endurance.

En Suisse, la pratique d'une activité sportive est en augmentation depuis le début des années 2000. Plus de trois quarts (76.1%) de la population suisse pratique au moins trois heures de sport par semaine et déclare faire attention à son alimentation (1). Selon une étude suisse réalisée en 2009, il ressort qu'un quart de la population consomme des vitamines, des minéraux et des suppléments alimentaires. Cette étude met aussi en évidence une relation entre l'activité physique et la prise de ces suppléments (2).

L'offre en produits pour sportifs est immense. Il existe des barres protéinées ou des gels auxquels sont, en fait, une alternative aux aliments traditionnels. Il existe également des suppléments qui contiennent des nutriments ou des composants alimentaires en plus grande concentration qu'un aliment classique et sont souvent administrés sous forme de capsules ou de comprimés (3). Beaucoup de sportifs consomment ces produits sans en connaître les véritables effets et en s'appuyant sur des preuves insuffisantes (4,5). Ils considèrent l'alimentation normale comme incomplète. C'est pourquoi, afin d'améliorer leur régime alimentaire ou leur performance, ils consomment des suppléments alimentaires (5).

Dans le domaine des suppléments, les antioxydants sont utilisés pour leurs effets présumés bénéfiques sur des molécules produites par l'organisme durant un exercice physique. Plusieurs études ont déjà été menées afin d'établir un lien entre la prise d'antioxydants et l'amélioration des performances physiques. Les résultats restent toutefois très discordants et il manque une réponse claire à ce sujet. C'est la raison pour laquelle nous voulons identifier les éventuels effets d'une supplémentation en antioxydants sur la performance sportive au travers d'une revue de littérature (quasi) systématique.

Notre travail porte sur les sports d'endurance uniquement. Ce choix est aiguillé par nos préférences personnelles et nos habitudes sportives. Nous avons trouvé pertinent de mener notre travail sur des pratiques que nous exerçons et qui nous tiennent à cœur.

Enfin, les diététiciens sont souvent interpellés par des sportifs d'élite ou amateurs pour des conseils nutritionnels tant pour optimiser les effets d'un entraînement régulier qu'en vue notamment d'une compétition. Il est donc essentiel de s'appuyer sur des recommandations avérées et de diffuser des conseils adéquats. Cette revue de littérature permettra de faire le point sur la question et suggérer des recommandations utiles à la pratique de notre profession.

Pour une question de lisibilité, nous n'avons pas choisi l'écriture inclusive. Les formulations masculines utilisées dans notre travail s'appliquent autant au sexe masculin qu'au sexe féminin.

2 Cadre de référence

2.1 Activité physique et sport

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) définit l'activité physique comme tout mouvement corporel produit par les muscles qui requiert une dépense d'énergie. Elle comprend autant les mouvements effectués lors d'une activité professionnelle, que de loisirs ou de tâches ménagères. L'OMS différencie le terme "activité physique" qui comporte les aspects de bienfaits pour la santé et l'expression "faire du sport", qui vise à améliorer ou à entretenir la condition physique (1).

L'enquête Sport Suisse 2014 décrit quant à elle la notion de sport selon la qualité et l'intensité de l'activité, les motivations et les buts recherchés, les lieux et l'environnement dans lesquels l'activité est réalisée (6). Le sport se caractérise par l'action de s'entraîner physiquement, d'améliorer sa condition physique et sa coordination. Chacun choisit sa pratique physique selon ses capacités, son niveau, ses motivations, ses besoins personnels ou sa préférence pour telle ou telle pratique. Celle-ci peut alors être perçue comme une activité physique quotidienne et courante pour certains ou comme un sport pour d'autres. La notion de sport est ainsi vaste et dépend de la façon dont chaque individu l'aborde (7). Elle permet également d'atteindre une bonne hygiène de vie et de se divertir. Au final, il existe donc de multiples manières pour caractériser les sportifs et nous avons opté pour deux catégories : sportifs amateurs et sportifs d'élite.

Le sportif amateur peut aussi être qualifié de "populaire". Cette catégorie englobe la majorité des sportifs et se caractérise par une grande diversité de pratiques, d'objectifs et de niveaux. À tout âge, elle permet l'acquisition de compétences, le développement de soi, la recherche de plaisir et de bien-être. Elle n'est pas incompatible avec un esprit de compétition, comme le démontre le nombre croissant d'événements sportifs chronométrés ouverts à tout le monde (7).

Le sportif d'élite, qui peut être athlète professionnel, se distingue du sportif amateur par la notion de fréquence, d'intensité, de volume et de compétition. Le rapport d'élite suisse de 2011 émet la définition suivante : « Le sport d'élite représente un sous-ensemble du sport. Il se caractérise par une compétitivité marquée, par la recherche de performances maximales et par une émulation internationale ». Cette catégorie est plus homogène car elle fait l'objet de sélections effectuées par les sociétés sportives suisses, seuls les espoirs et les talents sont choisis pour faire partie de l'élite (8).

Toutefois le niveau d'un sportif amateur peut se rapprocher de celui d'un sportif élite par la quantité et la qualité des entraînements et les objectifs élevés.

2.2 Mécanismes énergétiques

2.2.1 Production d'énergie

L'énergie nécessaire à l'organisme provient des nutriments (substrats) que nous ingérons dont le glucose, qui est la source d'énergie principale au fonctionnement cellulaire. Cependant, l'énergie chimique qu'il contient n'est pas directement utilisable. Le glucose doit ainsi être dégradé et oxydé dans la cellule (9). La glycolyse qui est en fait l'oxydation du glucose, génère

à travers des réactions d'oxydo-réduction de l'adénosine triphosphate (ATP) (figure 1) (9) qui est la source d'énergie principale. Les cellules peuvent hydrolyser cette molécule et utiliser l'énergie qui s'en dégage. Une fois que l'ATP a perdu ces liaisons phosphates, il se trouve sous une forme d'adénosine monophosphate (AMP) ou adénosine diphosphate (ADP). Lorsque les réserves en ATP sont épuisées, l'oxydation de nouveaux substrats permet de régénérer l'ATP. En somme, cette molécule agit comme une monnaie d'échange (d'énergie) entre les nutriments et les cellules (9).

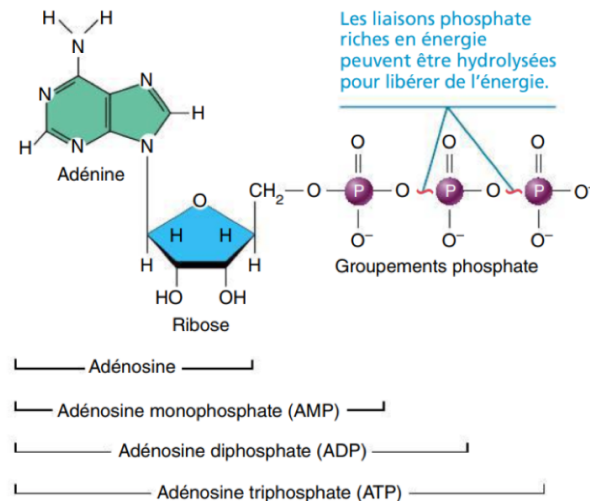


Figure 1 : Structure biochimique de l'ATP

2.2.2 Systèmes énergétiques lors d'une activité physique

L'endurance relève de la capacité à maintenir une certaine intensité d'effort sur la durée. L'objectif d'un sportif d'endurance est donc de retarder autant que possible la fatigue (physique et mentale). Les sports d'endurance sont des activités qui durent dans le temps, il peut s'agir de la course à pied, du trail de montagne ou de cyclisme (9).

Par opposition, les activités sportives qui demandent de la puissance brève et de l'explosivité sont définies comme des sports de force, tels que le 100 mètres (m) ou les arts martiaux. Ces sports font plutôt appel à la voie anaérobie lactique (9).

En réalité, l'organisme recourt, à plusieurs reprises, aux différentes voies métaboliques durant un effort donné. Par exemple, un sportif d'endurance qui veut "se placer" dès le début d'une course, ou qui va effectuer un sprint intermédiaire pour acquérir des points (en cyclisme par exemple) va faire appel à une filière énergétique anaérobie durant un bref moment avant de revenir à un effort plus modéré dont l'énergie sera fournie par le système aérobie (9).

La voie métabolique à l'origine de la production de l'énergie nécessaire est fonction de la puissance fournie (figure 2) (10).

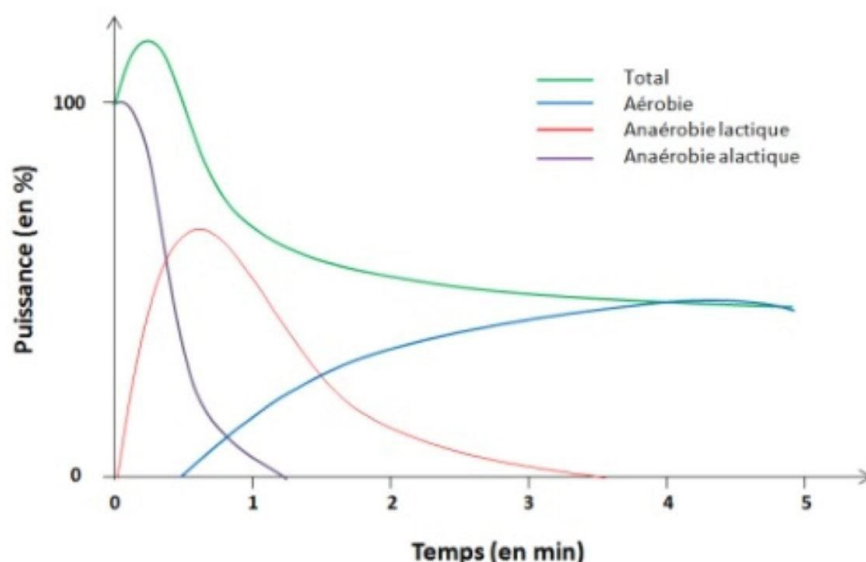


Figure 2 : Représentation des voies métaboliques en fonction de la puissance fournie

Le tableau suivant résume les trois types de systèmes énergétiques activés lors d'un exercice physique (tableau 1) (9).

Tableau 1 : Systèmes énergétiques mis en jeu lors d'un exercice physique

Système énergétique	Mécanisme	Exemples
1. Anaérobie alactique	<p>Les cellules musculaires possèdent une réserve d'énergie très limitée qui est utilisée au début d'un effort. Elle permet de maintenir une puissance maximale pendant quelques secondes. Cela laisse le temps à d'autres voies métaboliques de se mettre en place afin d'assurer l'apport de l'énergie aux muscles.</p> <p>L'énergie dégagée pour ce type d'effort provient de l'ATP stockée dans les muscles et produit par phosphorylation directe à partir d'ADP et de créatine phosphate.</p>	Efforts brefs et intenses (p. ex. haltérophilie, sprint de 100 m)
2. Anaérobie lactique	Ce système utilise le glycogène musculaire (stock de glucose) pour fournir de l'énergie aux muscles. Cette opération ne requiert pas d'oxygène et conduit à la production de lactate. Durant des efforts intermittents, les muscles se gonflent et gênent le passage du flux sanguin réduisant l'arrivée d'oxygène.	Efforts intermittents (p. ex. sports d'équipe, tennis) ou brefs et répétés (p. ex. athlétisme 600 m, natation)

3. Aérobie	<p>Cette voie requiert l'utilisation d'oxygène. Lors d'un effort physique, le glycogène musculaire s'épuise et est petit à petit remplacé par d'autres substrats énergétiques tels que les acides gras.</p> <p>Le système aérobie produit de l'énergie de manière plus lente que les voies anaérobies mais peut durer plusieurs heures. C'est l'endurance aérobie.</p> <p>Lorsque l'effort à fournir dépasse la capacité du système aérobie à fournir de l'énergie, les voies anaérobies reprennent le dessus et compensent ce manque. Ce moment correspond au seuil anaérobie.</p>	Efforts d'endurance (p. ex. semi-marathon ou plus, triathlon, natation en eau libre)
Abréviations : ADP : adénosine diphosphate ; ATP : adénosine triphosphate ; m : mètre ; p. ex. : par exemple		

2.3 Radicaux libres et stress oxydatif

Les radicaux libres appelés également espèces réactives de l'oxygène sont des molécules instables. Ils ont la capacité de modifier leur structure et celle d'autres molécules au travers d'une réaction d'oxydo-réduction. Les protéines, les lipides et l'acide désoxyribonucléique (ADN) sont des cibles vulnérables à ces réactions. L'altération de ces structures favorise l'inflammation et les cellules sont plus susceptibles de subir une apoptose. Les dégâts de ces facteurs oxydants vont jusqu'à l'altération des fonctions cellulaires et physiologiques. L'organisme est exposé à une grande variété d'espèces réactives provenant de sources exogènes et endogènes. Les sources exogènes sont induites par l'environnement. Le corps est perpétuellement soumis à des agressions venant de l'extérieur comme le rayonnement ultraviolet, le tabac, les bactéries, l'alcool et la pollution. L'exposition à des sources endogènes est plus étendue parce que tout être humain produit physiologiquement des radicaux libres provenant d'une réduction incomplète de l'oxygène lors du métabolisme aérobie (4).

Le système de défense contre les substances réactives est composé d'antioxydants. Lorsque l'augmentation de radicaux libres devient excessive, ce système de défense est surchargé et génère le stress oxydatif. Ce déséquilibre entre la production de radicaux libres et la capacité de l'organisme à s'en débarrasser cause notamment des dommages cellulaires, et est impliqué dans le développement de certaines maladies inflammatoires, neurodégénératives, métaboliques, cardiovasculaires ainsi que des cancers. Il accélère également le vieillissement (4).

Toutefois, des taux physiologiques de radicaux libres sont nécessaires pour d'innombrables processus tels que l'activation de la réparation de l'ADN ou la modulation de l'activation des enzymes et des gènes. Ils sont également impliqués dans la réponse immunitaire des cellules, la détoxification des médicaments et la contraction musculaire (4).

2.3.1 Impact de l'activité physique sur le stress oxydatif

Durant l'exercice physique, la production d'énergie nécessaire à la contraction musculaire génère un nombre important de radicaux libres. Avec l'entraînement physique, les cellules sont capables de s'adapter à l'augmentation des radicaux libres en devenant plus résistantes au stress oxydatif. Cette adaptation est davantage observée lorsque l'exercice est effectué de manière régulière. Ainsi des contractions musculaires trop intenses, inhabituelles ou effectuées sur une période prolongée exposent le muscle à un stress considérable et peuvent causer des dommages irréversibles. Ce phénomène induit une réponse inflammatoire et augmente ensuite la formation de radicaux libres. Les études manquent toutefois pour établir un lien de causalité direct entre l'augmentation des radicaux libres et les dommages musculaires (4).

Aussi, l'exercice physique régulier stimule les mécanismes endogènes qui permettent un équilibre du système oxydant et antioxydant. Cette adaptation et cet équilibre cellulaires se réalisent grâce à plusieurs mécanismes : la régulation positive de l'expression des gènes sensibles à l'oxydoréduction et des enzymes antioxydantes, l'augmentation de l'activité enzymatique, la stimulation du turn-over protéique, l'amélioration du système de réparation de l'ADN, l'augmentation de la synthèse de mitochondries ainsi que l'atténuation de l'inflammation et de l'apoptose. Ces réponses favorables sont produites par l'organisme quand celui-ci est exposé, de manière fréquente, à de faibles doses de substances habituellement toxiques. Ainsi, une élévation modérée du taux de radicaux libres pourrait avoir des effets bénéfiques sur la santé et sur la performance physique (4).

2.4 Antioxydants

Un antioxydant est une molécule capable de ralentir ou d'empêcher l'oxydation d'autres molécules. Il neutralise les radicaux libres et diminue le stress oxydatif au sein de l'organisme. Les antioxydants sont catégorisés selon leur mode d'action : via des systèmes enzymatiques, par l'inhibition d'enzymes oxydantes, par la chélation de métaux et des piègeurs de radicaux libres (11,12).

Certains antioxydants sont endogènes c'est-à-dire qu'ils sont produits par l'organisme lui-même, comme les superoxydes dismutases, les glutathions peroxydases ou les catalases. Les antioxydants exogènes sont quant à eux apportés par l'alimentation. Il s'agit de vitamines, d'oligoéléments, de caroténoïdes, de polyphénols, etc. Parmi ces molécules exogènes, les vitamines C et E ainsi que le zinc ont des propriétés antioxydantes supérieures (11,12).

2.4.1 Supplémentation vs complémentation

Notre travail est axé sur la supplémentation en antioxydants qui n'est pas à confondre avec la substitution ou l'entretien. La substitution correspond à l'action de palier à un déficit aigu établi sur la base d'une analyse plasmatique. L'entretien permet de maintenir les fonctions normales. Tous deux correspondent à une complémentation. La supplémentation quant à elle se définit par l'administration d'une dose supérieure au besoin physiologique et aboutissant à des valeurs supérieures à la normale. Avec une supplémentation, le risque de toxicité est élevé en cas de prise prolongée sur plusieurs semaines (figure 3) (13).

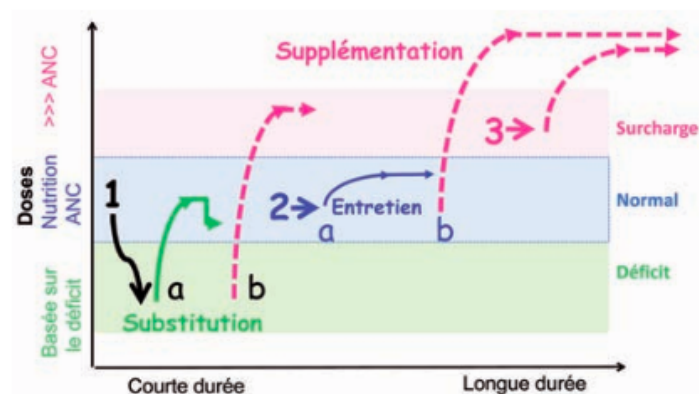


Figure 3 : Substitution, entretien et supplémentation

Très souvent, la complémentation et la supplémentation sont confondues, c'est-à-dire que l'apport nutritionnel recommandé n'est pas pris en compte. Dans ce travail, nous utilisons "supplémentation" comme terme général pour définir une prise de substances composées de macro- ou micronutriments en plus de l'alimentation habituelle. Le terme "complémentation" est utilisé uniquement dans un contexte de carences alimentaires.

2.4.2 Recommandations pour la population générale

Il n'y a pas de preuve scientifique à consommer des suppléments alimentaires pourvoyeurs d'antioxydants lorsque l'alimentation est variée, équilibrée et suffisante (14). Cependant, il existe des groupes à risque de carences ou d'apports suboptimaux. Ce sont généralement les enfants et les adolescents durant les périodes de croissance rapide, les femmes enceintes, allaitantes et les personnes âgées. De plus, des situations particulières nécessitent d'évaluer si les besoins sont couverts, tels que des apports insuffisants, une absorption digestive réduite ou des pertes excessives (p. ex. régimes restrictifs, diarrhées, alcoolisme). Une complémentation est nécessaire quand un déficit est avéré sur la base d'une analyse sanguine et elle doit alors être médicalisée (15).

Diverses études ont mis en relation la supplémentation en antioxydants et la santé, notamment l'étude française SU.VI.MAX effectuée en 2004 et en 2010 dans laquelle il était question d'observer le taux d'incidence des maladies cardiovasculaires et du cancer sur environ 13'000 adultes durant sept ans et demi. Il n'y avait pas d'effets bénéfiques d'une supplémentation antioxydante lors du suivi post-intervention. La principale conclusion des auteurs était qu'une consommation adéquate et à vie de fruits et de légumes fournit les antioxydants nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme (16,17).

2.4.3 Spécificités des vitamines C et E

Les vitamines sont des structures organiques indispensables. Elles régulent les processus métaboliques et neurologiques, la synthèse d'énergie et restreignent la destruction des cellules. Il en existe deux catégories principales ; les vitamines liposolubles comme la vitamine E et les vitamines hydrosolubles, comme la vitamine C. L'organisme stocke les vitamines liposolubles, ainsi un apport excessif peut entraîner une toxicité. Un apport excessif de vitamines hydrosolubles, par leur dissolution dans l'eau, est éliminé dans l'urine à quelques exceptions près (18). Les vitamines C et E sont décrites dans le tableau ci-dessous (tableau 2) (19,20).

Tableau 2 : Description des vitamines C et E

	Fonctions	ANC (mg/j)	Surdosage (mg/j)	Effets du surdosage
Vit. C	Protège les cellules Participe au bon fonctionnement immunitaire	Adulte H/F : 110 +65 ans : 95	1000	Pro-oxydant
Vit. E	Principal AOX lipophile Piégeur physiologique de radicaux libres produits pendant l'oxydation lipidique Action amplifiée en présence d'autres AOX (vitamine C, sélénium, bêta-carotène)	Adulte H : 13-15 Adulte F : 12 +65 ans : 11-12	200	Divers effets néfastes sur les fonctions cellulaires, membranaires, musculaires et nerveuses.
Abréviations : AOX : antioxydant ; ANC : apport nutritionnel conseillé ; F : femme ; H : homme ; mg/j : milligramme par jour ; vit. : vitamine				

Les suppléments de vitamines C et E sont populaires chez les sportifs d'élite et amateurs malgré les résultats controversés des effets supposés de ces vitamines sur la performance physique et la récupération musculaire (21).

2.4.4 Supplémentation en antioxydants dans une pratique sportive

Pratiques courantes

Selon une étude suisse réalisée en 2009 sur un échantillon de 6188 personnes issu de l'étude CoLaus, il ressort qu'un quart de la population consomme des vitamines, des minéraux et des suppléments alimentaires. Les femmes, les personnes ayant un niveau d'éducation élevé et celles qui exercent une activité physique ont le plus recours à ces usages. Cette étude met en évidence une relation significative entre l'activité physique et la prise de ces suppléments indépendamment du niveau d'éducation. Malgré l'absence de résultats ou la certitude que les effets sont inexistantes, les suppléments sont tout de même consommés (2).

Selon deux autres revues, la supplémentation en antioxydants est une pratique courante chez les sportifs d'élite et amateurs (4,22). De nombreux sportifs considèrent l'alimentation normale comme insuffisante. C'est pourquoi, afin d'améliorer leur régime alimentaire ou leur performance, ils consomment des suppléments alimentaires. Ces derniers sont utilisés par la population sportive souvent sans connaissance des risques ou des bénéfices réels et sans l'avis d'un professionnel. Encouragés par le marketing agressif et accrocheur des industries, ils consomment des suppléments alimentaires susceptibles d'avoir un effet positif sur leur activité sportive et croyant ainsi optimiser leur performance physique (5).

Pourtant, bien souvent, les suppléments mis en avant par les industries n'ont pas fait l'objet de tests adaptés et les preuves scientifiques sont insuffisantes concernant leur potentiel et leur fiabilité sur du long terme (4,5). Toutefois, lorsque des preuves existent, elles sont souvent le résultat d'études réalisées avec des méthodes qui ne sont pas applicables à la réalité (p.

ex. dose non physiologique sur des tissus isolés) (5). L'effet ergogène de la plupart des micronutriments est obscur et des recherches additionnelles doivent être réalisées (23).

Recommandations actuelles

Selon les directives pour l'exercice et la nutrition sportive de l'American College of Sport Nutrition, du Comité international olympique et de la Société internationale pour la nutrition sportive, les recommandations en matière de micronutriments dans le domaine sportif sont les suivantes :

Actuellement, il n'y a pas de lignes directrices claires sur la supplémentation en micronutriments chez les athlètes qui suggèrent que les athlètes devraient être surveillés sur une base individuelle. Une alimentation saine et équilibrée, qui comprend tous les différents groupes alimentaires, ainsi qu'une exposition adéquate au soleil, devraient fournir suffisamment de micronutriments (23).

La société suisse de nutrition et du sport adopte une position similaire. Selon elle, une éventuelle supplémentation en micro- ou en macronutriments doit être adaptée à la situation et au contexte individuels et en accord avec les spécialistes. Elle ne doit en aucun cas remplacer l'alimentation de base (3,24).

Cependant, certains athlètes ont un risque d'avoir un déficit en micronutriments. Dans ce cas, une complémentation en vitamines et minéraux est envisageable. Il s'agit notamment des athlètes qui restreignent leur apport énergétique, qui ont une alimentation déséquilibrée et pauvre en nutriments, qui éliminent un groupe d'aliments comme les végétariens, qui ont recours à des pratiques de pertes de poids sévères, en arrêt forcé ou ayant une maladie particulière. L'athlète à risque doit être pris en charge par un professionnel de la santé et une complémentation doit être prescrite et suivie de manière individualisée (23,25).

La nutrition sportive perçue par les athlètes

La nutrition sportive peut être représentée par le schéma développé par Jeukendrup (figure 4) (26). Nous constatons que les athlètes ont tendance à avoir recours à des suppléments plutôt que de donner de l'importance à leur alimentation. D'un autre côté, les recommandations d'experts préconisent l'utilisation de suppléments en dernier lieu.

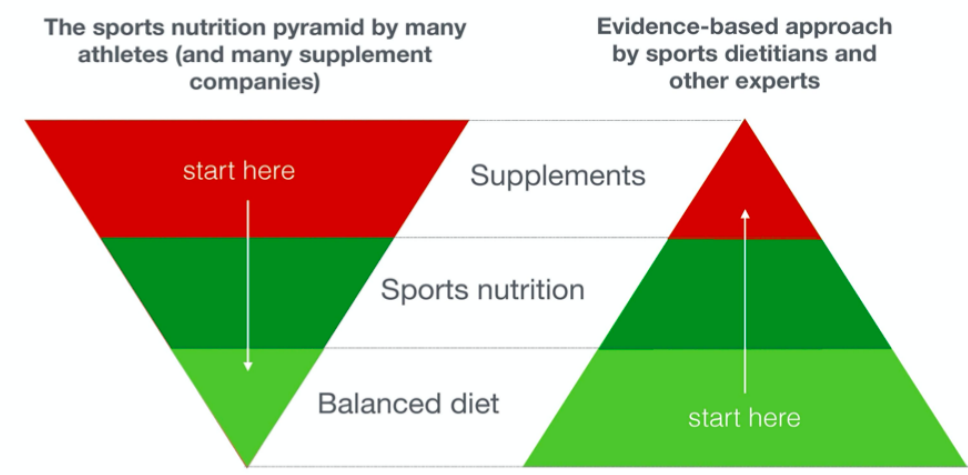


Figure 4 : Représentations de la nutrition par les sportifs et les experts

2.4.5 Effets indésirables d'une supplémentation en antioxydants

Lorsqu'il est exposé à des radicaux libres, l'organisme répond rapidement via les systèmes antioxydants endogènes. Durant un exercice physique, les cellules musculaires s'adaptent à une augmentation de radicaux libres et deviennent plus résistantes. Une supplémentation en antioxydants, en diminuant la réponse endogène, entrave cette adaptation cellulaire de plusieurs manières. Par exemple, la régulation positive de l'expression de certains gènes impliqués dans la fonction musculaire est inhibée. Il peut s'agir de facteurs responsables de la synthèse de protéines qui ont un impact sur la viabilité cellulaire à long terme. Aussi, l'expression induite des enzymes antioxydantes est supprimée. De plus, comme les radicaux libres sont indispensables à la contraction musculaire, les éliminer avec des doses élevées d'antioxydants peut avoir des influences négatives sur la fonction musculaire et en conséquence, sur la régénération musculaire et la performance (4).

2.5 Comment mesurer la performance ?

Le but recherché par les sportifs lors de prise de suppléments nutritionnels, notamment d'antioxydants, est d'améliorer la performance, soit en améliorant la capacité de l'organisme à produire un effort, soit en augmentant la résistance à encaisser des entraînements durs, ou encore en optimisant la récupération. Dès lors, la mesure des capacités physiques n'a pas pour seul objectif de mesurer une performance à un moment donné, mais aussi d'observer son évolution, permettant ainsi des conseils individuels et une optimisation de l'entraînement. En compétition de haut niveau, même une amélioration marginale peut faire la différence qui mène à la victoire (27).

Les méthodes permettant de mesurer la performance sont influencées par des facteurs physiologiques et psychologiques, rendant les résultats parfois difficiles à interpréter (28). Les appareils utilisés contiennent aussi une marge d'erreur qu'il faut prendre en compte. Si le changement dans la mesure de performances est égal ou inférieur à la marge d'erreur, la mesure perd sa fiabilité et ne peut pas être interprétée (27).

Le Manuel de diagnostic de performance par Swiss Olympic décrit trois types de tests de mesures d'endurance qui sont les plus utilisés : le test d'effort par paliers, le test de $VO_2\text{max}$, et le test de capacité (27). Ils sont brièvement décrits dans les chapitres ci-dessous.

2.5.1 Test d'effort par paliers avec mesure de la lactatémie

Dans ce test, l'athlète réalise un exercice, par exemple une course sur tapis roulant, durant lequel l'effort à fournir est progressivement augmenté par paliers. L'intensité de la tâche est prédéterminée et ne laisse donc aucune liberté au sportif. Le but est de tenir le plus longtemps possible en réalisant un maximum de paliers (27).

À la fin de chaque palier, la lactatémie et la fréquence cardiaque sont relevées. L'évolution de ces paramètres est représentée en deux courbes sur le graphique suivant (figure 5) (27) à partir desquels il est possible de déduire deux seuils, aérobie et anaérobie. Ce test permet de suivre les changements dans la capacité d'endurance d'un athlète tout au long de son entraînement (27).

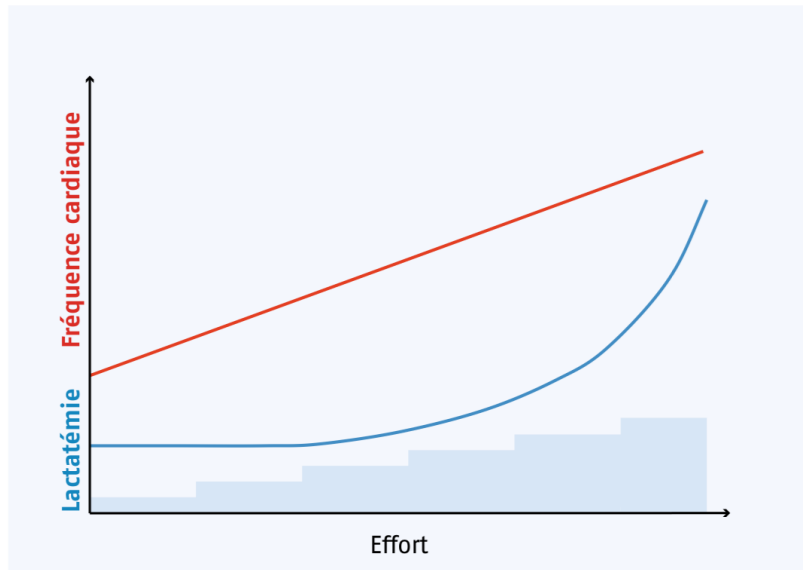


Figure 5 : Test par paliers avec mesure de la lactatémie à l'effort

2.5.2 Test de $VO_2\text{max}$

Lors d'un effort physique, le moment où l'apport d'oxygène aux muscles squelettiques est optimal correspond à la $VO_2\text{max}$ ou consommation maximale d'oxygène par unité de temps (29). Cette mesure permet d'évaluer le potentiel maximal aérobie ainsi que les capacités d'endurance d'un athlète. Cette valeur se calcule en ml/min/kg . Plus la valeur est élevée, plus le niveau du sportif l'est aussi (27,30).

Le test peut être réalisé sur un tapis roulant ou n'importe quel autre ergomètre. Il comprend une augmentation de l'intensité et se poursuit jusqu'à épuisement. Durant le test physique, la ventilation, le taux d'absorption de l'oxygène et le taux de rejet de dioxyde de carbone sont mesurés. À partir de cette analyse respiratoire, il est possible de calculer la $VO_2\text{max}$ (figure 6) (27).

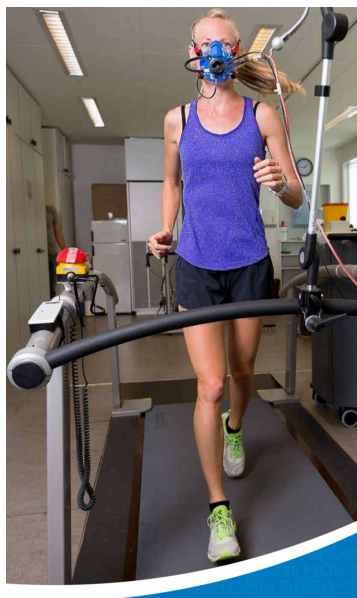


Figure 6 : Analyse respiratoire

La VO₂max indique un niveau d'endurance et donne la possibilité de planifier l'entraînement en conséquence. L'adaptation de l'entraînement à cette valeur de référence a pour but l'amélioration du niveau et donc des performances (31).

La mesure de la VO₂max comprend une marge d'erreur typique de 3-4% ce qui ne permet pas d'interpréter de petites modifications dans les résultats (27).

Sur la base de la VO₂max, des niveaux d'endurance ont été établis en fonction du genre et de l'âge. Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes basées sur la classification suivante (figure 7) (30) pour caractériser le niveau d'endurance des participants étudiés.

MEN							
Age (year)	Very poor	Poor	Fair	Average	Good	Very good	Excellent
20-24	<32	32-37	38-43	44-50	51-56	57-62	>62
25-29	<31	31-35	36-42	43-48	49-53	54-59	>59
30-34	<29	29-34	35-40	41-45	46-51	52-56	>56
35-39	<28	28-32	33-38	39-43	44-48	49-54	>54
40-44	<26	26-31	32-35	36-41	42-46	47-51	>51
45-49	<25	25-29	30-34	35-39	40-43	44-48	>48
50-54	<24	24-27	28-32	33-36	37-41	42-46	>46
55-59	<22	22-26	27-30	31-34	35-39	40-43	>43
60-65	<21	21-24	25-28	29-32	33-36	37-40	>40

WOMEN							
Age (year)	Very poor	Poor	Fair	Average	Good	Very good	Excellent
20-24	<27	27-31	32-36	37-41	42-46	47-51	>51
25-29	<26	26-30	31-35	36-40	41-44	45-49	>49
30-34	<25	25-29	30-33	34-37	38-42	43-46	>46
35-39	<24	24-27	28-31	32-35	36-40	41-44	>44
40-44	<22	22-25	26-29	30-33	34-37	38-41	>41
45-49	<21	21-23	24-27	28-31	32-35	36-38	>38
50-54	<19	19-22	23-25	26-29	30-32	33-36	>36
55-59	<18	18-20	21-23	24-27	28-30	31-33	>33
60-65	<16	16-18	19-21	22-24	25-27	28-30	>30

Figure 7 : Niveau d'endurance selon la VO₂max

2.5.3 Test de capacité

Le test de capacité est celui qui se rapproche le plus d'une situation de compétition. C'est le test le plus précis pour mesurer une performance à un moment donné puisqu'il a un niveau de standardisation élevé. La standardisation se définit par le contrôle des paramètres (p. ex. météo) du test de manière à obtenir des résultats précis, interprétables et reproductibles. Ce test est proche de la réalité et mesure la performance d'endurance de manière directe, ce qui n'est pas le cas de la mesure de la VO₂max ou du test d'effort avec lactatémie.

Différents types de tests sont utilisés en fonction des disciplines et selon leurs exigences spécifiques. Un marathon demande des efforts réguliers et une intensité constante, contrairement à une course de trail par exemple. La durée de l'effort est également une variable à prendre en compte lors du choix du test (27).

Les tests de capacité se regroupent en trois catégories :

- **Test de durée fixe** : la performance moyenne est évaluée par rapport à la distance parcourue en un temps donné. Exemple : réaliser une course de vingt minutes en parcourant la plus longue distance possible.

- **Test de travail ou de distance fixe (contre-la-montre)** : la performance est évaluée en fonction du temps nécessaire à parcourir la distance donnée. Exemple : réaliser une course de six kilomètres le plus rapidement possible.
- **Test d'effort donné** : l'indice de la performance est le temps écoulé jusqu'à épuisement (time to exhaustion). Exemple : réaliser une course sur un tapis roulant dont la résistance et la pente sont définies à l'avance. Le test se termine lorsque l'athlète est épuisé.

Ces tests comportent tous des avantages et des désavantages. Par exemple, le test de durée fixe est plus fiable après une familiarisation de l'épreuve. Dans cet exemple, l'effort est contrôlé uniquement par le sportif. Il se peut que l'athlète gère mal son effort durant le temps imparti ce qui ne mesurerait pas une performance optimale. Au contraire, ce test a l'avantage d'être adapté à des sportifs de niveaux différents. De manière générale, la marge d'erreur typique d'un test de capacité se situe entre 1 et 3% (27).

2.5.4 Test de force

Les tests de force sont aussi un moyen d'évaluer une performance et sont utilisés pour évaluer l'aptitude à réaliser des exercices sur un laps de temps très court ou de haute intensité. Ils sont réalisés par des mesures de force, de vitesse et de puissance (p. ex. : plate-forme de force, accélérométrie dont des tests de musculation, test de vitesse sur 10 m). Les tests de force sont surtout adaptés pour évaluer la performance des sprinters ou des joueurs de sports collectifs demandant des efforts répétés d'intensité (basket, football, etc.) (28).

2.5.5 Mesures des dommages musculaires liés à l'exercice physique

Les antioxydants et tout particulièrement les vitamines C et E sont souvent utilisés dans la pratique sportive pour leur effet présumé sur les dommages musculaires liés à l'exercice physique (32). L'analyse d'un tel effet nécessite donc des outils d'évaluation des dommages musculaires dont deux sont brièvement présentés ci-dessous.

Évaluation des douleurs musculaires d'apparition retardée

L'évaluation des dommages musculaires liés à l'activité physique peut se faire en mesurant les douleurs qui surviennent à la suite d'un effort physique vigoureux. Ce sont les douleurs musculaires d'apparition retardée (DOMS). Ces paramètres sont très subjectifs et dépendent de la précision avec laquelle un participant décrit son sentiment de douleur. Comme il n'y a pas de gold standard pour mesurer les DOMS, les études qui cherchent à révéler les effets d'une supplémentation en antioxydants sur les dommages musculaires liés à l'exercice physique utilisent des méthodes variées. Cela rend les résultats des études difficiles à comparer (33). De plus, la corrélation entre la mesure de la douleur et les DOMS est faible (32).

Évaluation de la perte de force

Une évaluation de la perte de force semble être une méthode plus efficace pour mesurer les dommages musculaires liés à l'activité physique puisqu'elle est précise, fiable et qu'elle persiste jusqu'à la récupération du muscle. De manière générale, cette méthode est moins utilisée que l'évaluation de la douleur (32).

2.5.6 Méthodes de mesures de marqueurs du stress oxydatif

Initialement, les mesures des biomarqueurs du stress oxydatif étaient utiles pour déterminer la présence ou non d'un stress oxydatif dans le contexte de certaines pathologies. Depuis, ces mesures sont largement utilisées afin d'évaluer l'impact d'une supplémentation en antioxydants sur l'exercice physique (34).

Les radicaux libres sont difficiles à mesurer de manière directe car ils sont très réactifs et ont une demi-vie très courte. Cela ne leur permet donc pas de s'accumuler dans les tissus. Plusieurs méthodes s'appuient sur les sous-produits des radicaux libres, tels que les marqueurs d'oxydation des lipides, des protéines ou de l'ADN (33).

Évaluer les biomarqueurs du stress oxydatif dans le sang est déconseillé, car les résultats sont difficilement interprétables. Le sang contient des radicaux libres produits par les cellules plasmatiques et sanguines. Il contient aussi une partie des substances réactives produites par tous les organes et les tissus du corps, et il est donc hasardeux d'interpréter des changements de la concentration plasmatique de ces biomarqueurs comme provenant de tissus spécifiques tels que les muscles squelettiques (34).

Une biopsie musculaire est la meilleure option pour mesurer avec précision le stress oxydatif. Cette méthode est néanmoins coûteuse et difficile à mettre en place, notamment parce qu'elle est invasive et que peu d'athlètes acceptent facilement ce type de procédure. Par ailleurs, si le but de l'étude est d'observer une évolution, des prélèvements devront être réalisés à plusieurs reprises. Les biopsies répétées induisent une inflammation du tissu et risquent de fausser les résultats. Il n'est donc pas imaginable de réaliser des études à grande échelle sur la base de biopsies (34).

Comme énoncé sous le point 2.3.1, un niveau modéré de stress oxydatif n'est pas forcément négatif sur la performance, au contraire il peut être positif. Dès lors, le niveau de stress oxydatif ne permet pas d'établir des conclusions sur la performance (4).

3 Définition de l'étude

3.1 Question de recherche

Ce travail visait à rassembler et synthétiser les connaissances en lien avec l'impact d'une supplémentation en antioxydants, particulièrement les vitamines C et E, sur la performance physique lors d'une activité sportive d'endurance. Sur cette base, nous souhaitons suggérer des recommandations pratiques sur lesquelles les diététiciens pourraient s'appuyer dans leur pratique.

Notre question s'articulait de la façon suivante :

"Quels sont les effets de la supplémentation en vitamines C et E sur la performance sportive d'endurance ? "

Les éléments de notre question PICO étaient :

Population :	sportifs d'élite ou amateurs pratiquant un sport d'endurance ;
Intervention :	supplémentation en vitamines C et/ou E ;
Comparaison :	groupe contrôle ayant reçu un placebo ;
Outcome :	amélioration ou non des performances physiques sur la base d'un test de capacité.

3.2 But du travail

Notre but était d'effectuer une revue de littérature (quasi) systématique basée sur les quatre éléments de notre question de recherche, avec les objectifs suivants :

- Évaluer si une supplémentation en vitamines C et/ou E permet une amélioration de la performance sur la base d'un test de capacité ;
- Identifier les doses de vitamines C et/ou E et la durée de supplémentation associées à un changement éventuel (amélioration ou péjoration) de la performance ;
- Identifier les différences et/ou similitudes de l'impact d'une supplémentation sur les performances sportives selon les caractéristiques des populations (âge et niveau d'entraînement) ;
- Suggérer des recommandations pratiques utiles à l'exercice de notre profession.

4 Méthodes

Le design de notre travail de Bachelor était une revue de littérature (quasi) systématique dont l'objectif était de regrouper les connaissances actuelles permettant de répondre à notre question de recherche. Deux bases de données ont été retenues pour la recherche : Pubmed et Embase. Cinhal, initialement envisagée, a été écartée car elle est principalement axée sur les soins infirmiers.

Ce travail est basé sur les recherches préalables effectuées pour la rédaction d'un protocole (annexe I) rédigé dans le cadre du module "Méthodologie de recherche 3 et Biostatistiques" durant le semestre d'automne 2019-2020. Aussi, un tableau de Gantt a été réalisé (annexe II).

4.1 Critères d'inclusion et d'exclusion

4.1.1 Design des études

Nous avons inclus les études comprenant des interventions contrôlées randomisées en simple ou double aveugle. Les autres types d'études ainsi que les revues de littératures et les méta-analyses ont été exclues.

4.1.2 Population

Notre travail est axé uniquement sur les sports d'endurance. Les recherches ont été étendues autant aux sportifs d'élite qu'aux sportifs amateurs, comprenant les femmes et les hommes de tout âge et en bonne santé habituelle. Nous avons trouvé important d'inclure des sportifs de tout niveau car la charge d'entraînement semble être une variable intéressante dans la prise d'antioxydants. De plus, les sportifs amateurs sont plus représentatifs de la population sportive en général. En pratique, un sportif amateur peut faire de l'exercice à un niveau relativement faible tout comme il peut s'entraîner autant qu'un professionnel. Par ailleurs, l'inclusion d'études réalisées avec des athlètes d'élite et amateurs diminue le risque d'exclure des études de bonne qualité. Celles effectuées sur des animaux ou avec une population pratiquant des sports de force ont été exclues.

4.1.3 Intervention

Sur la base de revues traitant du thème, nous avons mis en évidence les antioxydants les plus fréquemment testés dans les études (4,32,35,36). Certains d'entre eux (p. ex. flavonoïdes, caroténoïdes, extraits de plantes, etc.) avaient tendance à faire partie intégrante d'un aliment quelconque et non pris séparément en tant que supplément. Finalement, nous avons décidé de nous concentrer sur les vitamines C et E uniquement, car la littérature se rapportait essentiellement à ces deux vitamines.

Afin de limiter les biais, nous avons exclu les études qui testaient d'autres molécules en même temps que les vitamines C et/ou E. Il en a été de même pour les études fondées sur une alimentation riche en antioxydants. Il aurait été impossible de dégager les effets d'une substance en particulier d'autant plus que l'effet matrice¹ des aliments se serait mêlé à cette

¹ *L'influence des différents constituants de l'aliment et de leurs effets métaboliques sur l'organisme, soit l'influence de la structure physique et des propriétés physicochimiques de la matrice de l'aliment (37,38).*

complexité. Enfin, les études évaluant l'effet d'interventions spécifiques (p. ex. entraînements en altitude) ont été exclues.

4.1.4 Outcome

Les méthodes pour détecter une amélioration des performances physiques sont multiples, comme décrites au chapitre 2.5. Les tests physiques de capacité étant les plus adaptés pour démontrer un changement dans les performances physiques suite à une intervention, nous n'avons inclus que les études utilisant ce type de tests. Nous avons ajouté des tests de force dans l'équation de recherche pour élargir le spectre des résultats.

4.1.5 Résumé des critères d'inclusion et d'exclusion

Les critères d'inclusion et d'exclusion définis pour ce travail sont résumés dans le tableau suivant (tableau 3).

Tableau 3 : Critères d'inclusion et d'exclusion

	Inclusion	Exclusion
Étude	Essai contrôlé randomisé	Tous les autres designs
Population	Humain Sport d'endurance Population en santé habituelle	Sport de force Animal
Intervention	Supplémentation en vitamines C et/ou E	Alimentation riche en antioxydants, supplémentation de vitamines C et/ou E combinée à d'autres suppléments En altitude
Outcome	Test de performance physique d'endurance mesuré avec un test de capacité Performance comme outcome central	Performances sportives non mentionnées dans l'abstract

4.2 Mots-clés

Notre stratégie de recherche reposait sur les quatre concepts de notre question de recherche :

- La population caractérisée par les sportifs d'élite et amateurs pratiquant un sport d'endurance ;
- L'intervention désignée par la supplémentation en vitamines C et/ou E ;
- La présence d'un groupe contrôle soumis au placebo ;
- Les résultats sur une amélioration ou non des performances physiques selon un test de capacité.

Nous avons listé des mots-clés pour chacun des concepts. Puis, nous les avons définis en mots-clés MeSH Terms utiles pour la base de données Pubmed à l'aide du site internet HeTOP. Tous les mots-clés ont été vérifiés afin de connaître leur hiérarchie et supprimer les doublons. Nous avons adapté tous les mots-clés à la hiérarchie Emtree de manière à définir l'équation de recherche pour la base de données Embase. Une fois les équations de recherche définies, nous avons inséré un filtre afin de sélectionner uniquement les essais cliniques randomisés. Les tableaux ci-dessous résument les mots-clés utilisés (tableaux 4, 5 et 6).

Tableau 4 : Mots-clés concept population

Population	Pubmed MeSH Terms	Embase	Autres/mots-clés libres
Athlètes, sportifs	Athlete	Athlete	
Activité physique	Exercise	Exercise	
Sport d'endurance	Physical endurance	Endurance	
Sportifs d'élite			Elite avec Title/abstract
Sportifs amateurs			Amateur avec Title/abstract
Sports	Sports	Sport	

Tableau 5 : Mots-clés concept intervention

Intervention	Pubmed MeSH Terms	Embase	Autres/mots-clés libres
Antioxydants	Antioxidants	Antioxidant	
Vitamine C	Vitamin C	Alpha tocopherol	
Acide ascorbique	Ascorbic acid		
Vitamine E	Vitamin E	Ascorbic acid	

Tableau 6 : Mots-clés concept performance physique

Performance physique	Pubmed MeSH Terms	Embase	Autres/mots-clés libres
Performance physique	Athletic performance Physical functional performance (nouveau MeSH 2019)	Exercise	
Test physique	Exercise test	Exercise test	

Force de la main	Hand strength	Hand strength	
Récupération	Recovery of function	Convalescence	
Fatigue musculaire	Muscle fatigue	Muscle fatigue	
Contraction du muscle	Muscle contraction	Muscle contraction	
Faiblesse musculaire	Muscle weakness	Muscle weakness	

4.3 Sélection des articles

Les équations de recherche ont été introduites dans les deux bases de données, Pubmed et Embase. Nous avons effectué un premier tri sur la base des titres, qui devaient correspondre au thème de notre recherche. Les critères d'inclusion et d'exclusion ont été appliqués au cours de deux lectures successives, de l'abstract puis des articles restants en entier. Au final, nous avons retenu six articles correspondant à nos critères (figure 8). Tout au long du travail, nous sommes restées attentives à la publication de nouveaux articles correspondant à notre équation de recherche.

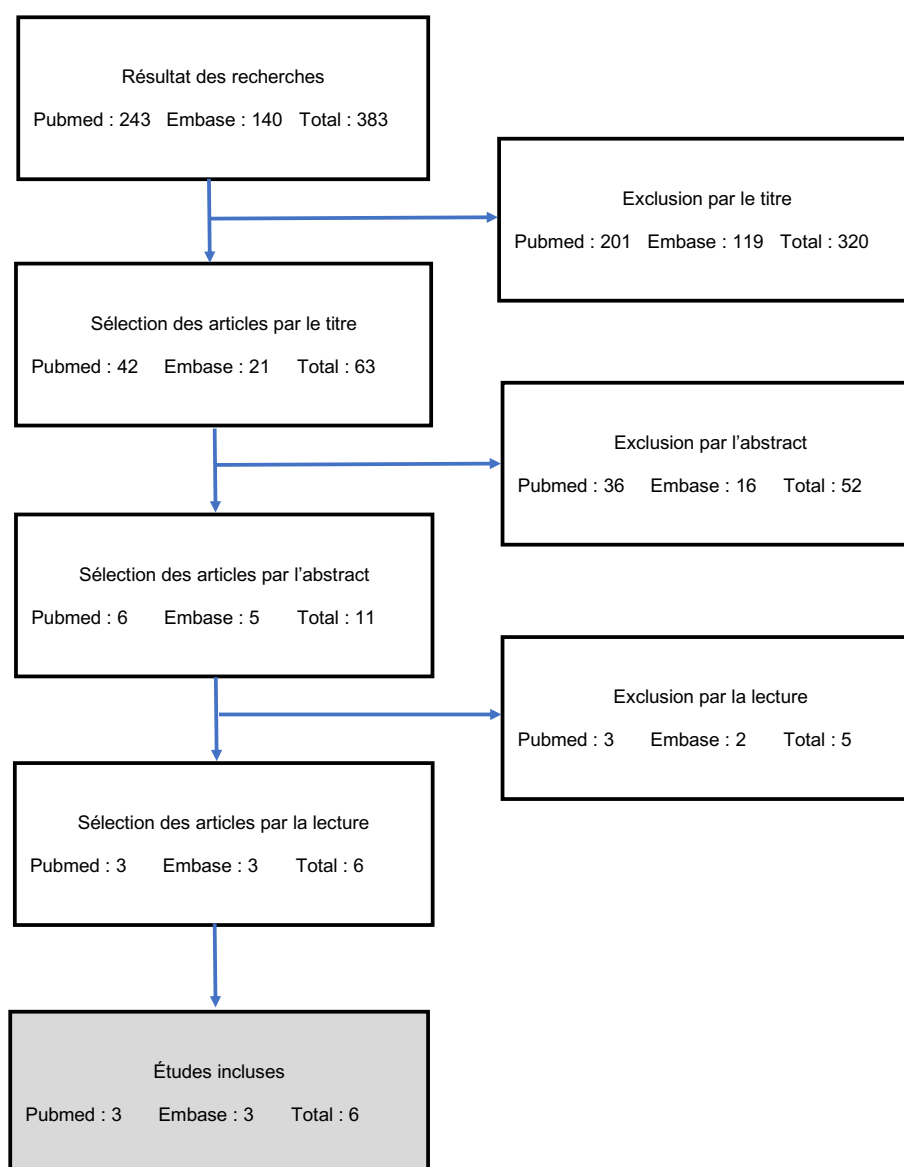


Figure 8 : Procédure d'inclusion et d'exclusion des articles

4.4 Extraction des données

L'analyse des articles a été réalisée à l'aide de la grille descriptive réalisée par la filière nutrition et diététique (annexe III) ainsi que la grille de qualité de l'Academy of Nutrition and Dietetics (traduite par la filière nutrition et diététique) (annexe IV) (39). De manière plus détaillée, l'extraction des données a été effectuée à l'aide de tableaux Excel contenant les éléments des deux grilles adaptées à notre recherche. Les tableaux ont évolué tout au long de l'analyse et de nos échanges.

Les éléments pertinents de chaque étude ont été regroupés dans un tableau descriptif (tableau 6) afin d'avoir une vue d'ensemble sur un même document. Les résultats des études incluses ont été reportés séparément dans un autre tableau (tableau 9). Ces tableaux ont servi de base à la rédaction des résultats et de la discussion.

5 Résultats

Nous présentons dans ce chapitre les résultats descriptifs des études retenues selon les quatre concepts de notre question de recherche ainsi que les résultats en lien avec l'analyse qualité.

5.1 Sélection des études

Au total, six études ont été incluses dans notre revue de littérature (quasi) systématique (tableau 5) (40–45).

Tableau 5 : Études retenues

Auteurs	Titre de l'article	Année
Askari et al. (40)	Does quercetin and vitamin C improve exercise performance, muscle damage and body composition in male athletes?	2012
Gaieni et al. (41)	Effects of vitamin E supplementation on oxidative stress at rest and after exercise to exhaustion in athletic students	2006
Gomes et al. (42)	Effect of vitamin supplementation on lung injury and running performance in a hot, humid, and ozone-polluted environment	2011
Paulsen et al. (43)	Vitamin C and E supplementation hampers cellular adaptation to endurance training in humans: a double-blind, randomised, controlled trial	2014
Roberts et al. (44)	Vitamin C consumption does not impair training-induced improvements in exercise performance	2011
Sharman et al. (45)	The effects of vitamin E and training on physiological function and athletic performance in adolescent swimmers	1971

5.2 Résultats descriptifs

Tableau 6 : Descriptif des études incluses

Étude		Population		Intervention supplémentation			Intervention physique	Protocole de performances	Analyses statistiques
Auteurs	Design	Sujets (n)	Niveau endurance	Groupes	Dose	Mesures nutritionnelles	Entraînement physique		
Année	Qualité	Age (ans ± ET)			Durée				
Askari et al. (40) 2012 Iran	ECR Double aveugle	56 H	Actifs non professionnels	Vit. C + pla. Vit. C + quer. Quer. + pla. Pla. + pla	200 mg/j 200 mg/j	Maintien de l'alimentation habituelle Pas de prise de suppléments ou de quercétine durant les trois mois précédant l'étude	Maintien de l'entraînement habituel	TTE par paliers sur tapis roulant	Dans les groupes : Paired t-test Entre les groupes : Dunnett's test post-hoc
	Neutre	21 (±1.6)			8 sem.				
Gaeini et al. (41) 2006 Angleterre	ECR Double aveugle	20 H	Entraînement régulier au cours des trois derniers mois	Vit. E Pla.	450 mg/j 5x/sem.	Pas de prise de suppléments en vitamines A, C et E durant les trois mois précédant l'étude	-	TTE par paliers sur ergomètre à cycle	Dans les groupes : Paired t-test Entre les groupes : Analysis of variance, ANOVA, with repeated measures
	Neutre	23 (± 2)			8 sem.				

Auteurs Année Lieu	Design Qualité	Sujets (n) Age (ans ± ET)	Niveau endurance	Groupes	Dose Durée	Mesures nutritionnelles	Entraînement physique	Protocole de performances	Analyses statistiques
Gomes et al. (42) 2011 Ecosse	ECR Double aveugle Cross over	9 H	Coueurs de compétition entraînés avec VO ₂ max ≥ 60	Vit. C + Vit. E Pla.	500 mg/j + 67 mg/j 2 sem.	-	-	Course contre la montre de 8 km dans une atmosphère contrôlée (température, humidité et taux d'ozone)	Dans et entre les groupes : General linear model ANOVA with Tukey's post-hoc test
Paulsen et al. (43) 2014 Norvège	ECR Double aveugle Positive	54 H et F 25 (± 5)	Entraînement d'endurance 1-4x/sem. au cours des six derniers mois	Vit. C + Vit. E Pla.	1000 mg/j + 235 mg/j 11 sem.	Consommation max. de quatre tasses de café et deux verres de jus de fruits par jour, pas de jus de raisin Maintien de l'alimentation habituelle Évaluation diététique de quatre jours, pré et post-intervention pour l'apport en énergie, en macro- et micronutriments dont vitamines C et E	38 à 45 séances d'exercices de course à pied à raison de 3 à 4x/sem. Intensité élevée <i>(une séance pouvait être remplacée par le vélo, le ski de fond ou une activité similaire)</i>	Shuttle run test	Dans les groupes : Paired Student's <i>t</i> test or Wilcoxon signed rank test (selon la distribution). Entre les groupes : Unpaired Student's <i>t</i> test or Mann-Whitney test (selon la distribution).

Auteurs	Design	Sujets (n)	Niveau endurance	Groupes	Dose	Mesures nutritionnelles	Entraînement physique	Protocole de performance	Analyses statistiques
Année	Qualité	Age (ans ± ET)			Durée				
Roberts et al. (44) 2011 Angleterre	ECR Double aveugle	15 H	Activités de loisirs	Vit. C Pla.	1000 mg/j 5x/sem.	Alimentation habituelle durant la première semaine de test, reproduite de manière similaire durant la deuxième semaine de test	Course d'intervalles à intensité élevée 4x/sem.	10 km time trial Shuttle run test	Dans et entre les groupes : Two-way mixed design repeated measures GLM (general linear model)
	Neutre	22 (±3)			4 sem.		Restriction l'activité physique hors des périodes d'entraînement		
Sharman et al. (45) 1971 Angleterre	ECR Double aveugle	26 H	Entraînement de natation 4x/sem.	Vit. E Pla.	400 mg/j	Contexte d'internat, repas similaires Maintien de l'alimentation habituelle	Maintien de l'entraînement habituel 4x/sem. un entraînement de natation et 1x/ sem. des sports généraux Restriction de l'activité physique hors des périodes d'entraînement	Course à pied de 1600 m Natation de 400 m Tractions Pompes Redressements assis Développés couchés	Dans et entre les groupes : Student's two tailed t test
	Positive	16 (± 1)			6 sem.				
Abréviations : ECR : essai clinique randomisé ; ET : écart-type ; F : femme ; H : homme ; km : kilomètre ; max. : maximum ; mg/j : milligramme par jour ; m : mètre ; n : nombre de participants ; pla. : groupe placebo ; quer. : quercétine ; sem. : semaine ; TTE : time to exhaustion ; vit. : vitamine									

5.2.1 Caractéristiques des études

Toutes les études étaient des essais cliniques randomisés, longitudinales et prospectives (40–45), dont une de type cross-over (42).

Cinq études ont été réalisées entre 2006 et 2014 (40–44). L'étude de Sharman et al. (45) était plus ancienne et datait de 1971.

5.2.2 Caractéristiques de la population

La taille des échantillons était variable et comprenait entre 9 et 56 participants. L'étude de Paulsen et al. (43) était la seule incluant des femmes, toutes les autres ont été conduites sur des hommes uniquement (40–42,44,45). La plupart des études sélectionnées incluaient une population âgée entre 21 et 33 ans (40–44). Une étude s'est démarquée, celle de Sharman et al. (45), avec une population adolescente, âgée de 15 à 17 ans. Les sports d'endurance effectués par les participants avant les études étaient la natation, la course à pied ou le cyclisme (42,43,45). Quant aux trois autres études, les informations sur le type de sport pratiqué habituellement n'étaient pas précisées (40,41,44).

Les études ont été effectuées dans différents pays, dont cinq en Europe (41–45) et une en Iran (40). La population étudiée était probablement en large majorité d'origine caucasienne.

Le niveau d'entraînement de la population étudiée n'était pas toujours décrite avec précision. Le tableau ci-dessous regroupe les informations concernant la $VO_2\text{max}$, la fréquence et l'intensité de l'entraînement (tableau 7). Sur la base de ces valeurs, nous avons pu établir le niveau d'endurance des participants pour lesquels la $VO_2\text{max}$ a été mesurée (figure 7) (30). Ceux-ci présentaient un niveau d'endurance de moyen à excellent (41–44). Pour les deux autres études, les entraînements effectués avant l'étude correspondaient à une population active sans pour autant pouvoir définir leur niveau d'endurance (40,45).

Tableau 7 : Niveau d'entraînement

Auteurs	Niveau d'entraînement rapporté dans l'étude	VO ₂ max avant intervention (ml/kg/min)	Niveau endurance estimé (30)
Askari et al. (40)	Actifs, non-professionnels	Pas mesurée	-
Gaeini et al. (41)	Entraînement régulier au cours des trois derniers mois	Pla. : 49.5 ± 1.3 Int. : 47.3 ± 0.61	Moyen à bon
Gomes et al. (42)	Coueurs de compétition entraînés avec VO ₂ max ≥ 60	65.6 ± 1.4	Excellent
Paulsen et al. (43)	Entraînement d'endurance 1-4x/sem. au cours des six derniers mois	Pla. : 53 ± 8 Int. : 53 ± 9	Bon à excellent
Roberts et al. (44)	Activités de loisirs	Pla. : 58.2 ± 3.6 Int. : 56.2 ± 6.3	Moyen à excellent
Sharman et al. (45)	Entraînement de natation 5x/sem.	Pas mesurée	-
Abréviations : int. : groupe intervention ; n : nombre de participants ; pla. : groupe placebo ; sem. : semaine			

5.2.3 Caractéristiques de l'intervention

Supplémentation

Les différences de dosage des suppléments dans les études étaient considérables. Pour la vitamine C, le dosage variait entre 200 mg/jour et 1000 mg/jour, alors que pour la vitamine E, la dose la plus faible était de 67 mg/jour et la plus élevée de 400 mg/jour. Les écarts dans la durée de la supplémentation étaient également importants d'une étude à l'autre et ils fluctuaient entre deux et onze semaines. Quatre études ont effectué une supplémentation avec une seule vitamine, la vitamine C pour Askari et al. (40) et Roberts et al. (44) et la vitamine E pour Gaeini et al. (41) et Sharman et al. (45). Quant à Gomes et al. (42) et Paulsen et al. (43), les deux vitamines C et E ont été étudiées.

La compliance était mesurée dans trois études uniquement. De manière générale, elle était excellente pour ces études. Roberts et al. (44) et Sharman et al. (45) mettaient les suppléments en main propre des participants, ce qui a favorisé leur consommation. Paulsen et al. (43) demandaient aux participants de tenir un journal d'entraînement pour mesurer la compliance.

Souvent, il a été demandé de maintenir une alimentation habituelle durant l'intervention (40,43–45). Cette demande avait pour but de réduire au maximum l'influence qu'un changement alimentaire aurait pu avoir sur les résultats des tests. Pour Sharman et al. (45), ce paramètre était partiellement contrôlé en raison de repas pris en collectivité (internat). Dans l'étude Paulsen et al. (43), une évaluation diététique, en pré et post-intervention, était effectuée sur quatre jours pour obtenir l'apport en énergie, en macro- et micronutriments dont vitamines

C et E. Cette mesure était réalisée afin d'éviter des différences significatives entre les deux groupes.

Activité physique

Deux de nos études ont ajouté un protocole d'entraînement physique durant la supplémentation (43,44). Les fréquences des entraînements variaient de trois à quatre fois par semaine. Dans l'étude de Sharman et al. (45), le nombre d'entraînement effectué était contrôlé dans le cadre du club sportif où tous les participants ont suivi le même type d'entraînement cinq fois par semaine. Pour cette raison, nous avons considéré que cette étude a intégré une intervention physique dans sa méthode. Pour Gaeini et al. (41) et Gomes et al. (42), aucune intervention sur l'activité physique n'a été réalisée. Askari et al. (40) ont demandé aux participants de maintenir l'activité habituelle.

5.2.4 Test de performance

Les tests de performance effectués variaient considérablement d'une étude à l'autre (tableau 8). D'autres mesures ont également été effectuées, telles que la composition corporelle, la fréquence cardiaque, des valeurs plasmatiques, la fonction pulmonaire, des marqueurs du stress oxydatif, de la lactatémie, et sont résumées dans le tableau 9.

Tableau 8 : Détail des tests de performance

Auteurs	Tests de performance (endurance et force)
Askari et al. (40)	Test d'effort en continu sur tapis roulant jusqu'à épuisement (TTE) selon le protocole de Bruce
Gaeini et al. (41)	Test d'exercice incrémentiel jusqu'à épuisement avec un ergomètre de cycle à une vitesse de pédale constante de 60 rpm ² avec des augmentations de 50 watts toutes les 5 min
Gomes et al. (42)	Course contre la montre de 8 km dans une chambre environnementale chaude (31 °C), humide (70%) et polluée par l'ozone
Paulsen et al. (43)	Shuttle run 20 m (46) : Les participants parcourent une distance de 20 m entre deux lignes et placent un pied sur la ligne à chaque fois qu'un bip retentit ; l'intervalle entre les bips diminue avec le temps. Le test a 21 niveaux. Il commence à une vitesse de 8 km/h et augmente de 0,5 km/h par minute. Les participants courent jusqu'à épuisement.
Roberts et al. (44)	10 km contre la montre sur tapis roulant YoYo Intermittent Recovery Test Level 1 (47) : Shuttle run de 20 m avec une période de récupération de 10 secondes entre chaque série YoYo Intermittent Recovery Test Level 2 (47) : Shuttle run selon le même protocole que le YoYo Level 1 mais en commençant à une vitesse plus élevée

² Tour par minute, vitesse de rotation

Sharman et al. (45)	<p>400 m de natation ; 1600 m de course à pied</p> <p>Tractions, nombre maximal ; pompes, nombre maximal ; redressements assis, nombre maximal en deux minutes ; développés couchés, nombre maximal à un rythme fixe (une poussée toutes les deux secondes)</p>
<p>Abréviations : km : kilomètre ; km/h : kilomètre à l'heure ; m : mètre ; min : minute ; rpm : revolution per minute ; TTE : time to exhaustion</p>	

5.2.5 Résultats et synthèse

Tableau 9 : Résultats des études incluses

Auteurs	Tests et Groupes	Résultats		Autres résultats Différences entre les groupes
		Avant int.	Après int.	
Askari et al. (40)	TTE (min ± ET) :			Pas de différences : Marqueurs du stress oxydatif (CK, AST), % de masse grasse
	Quer. + vit. C	14.84 ± 1.29	14.45 ± 1.83	
	Quer. + pla.	13.96 ± 2.57	3.17 ± 1.55	
	Pla. + vit. C	13.73 ± 1.40	13.93 ± 1.34	
	Pla. + Pla	13.84 ± 1.01	14.09 ± 1.14	
Gaeini et al. (41)	TTE (min ± ET) :			Pas de différences : Marqueurs du stress oxydatif (MDA, CP, CK), VO ₂ max, volume plasmatique
	Vit. E	16.1 ± 1.16	15.4 ± 0.85	
	Pla.	16.5 ± 0.84	15.6 ± 0.99	
Gomes et al. (42)	8 km contre la montre (time trial) (min : s ± ET) :	Cross-over: résultat final uniquement		Trois mesures : avant le test, immédiatement après le test, 6h après Groupe vitamine : Augmentation de la conc. plasmatique : Vit C avant [#] , après [#] , vit E après [#] , AOX total avant [#] et après [#] . Corrélation positive entre conc. plasmatique AOX (pré-test) et vitesse de course. Pas de différences : TEAC du lavage nasal, pulsations, effort perçu, ozone effective dose, marqueurs du dommage pulmonaire (CC16)
	Vit. C et vit. E	31:05 ± 0:37		
	Pla.	31:54 ± 0:41		

Auteurs	Tests et Groupes	Résultats		Autres résultats Différences entre les groupes
		Avant int.	Après int.	
Paulsen et al. (43)	Shuttle run test (m ± ET) : Vit. C + vit. E Pla.	1660 ± 570 1670 ± 550	1800 ± 540* 1870 ± 550*	Groupe vitamine : Augmentation de la conc. plasmatique de vit. C et E [#] Groupe placebo : Augmentation de la conc. plasmatique 8-iso-prostane [#] (marqueurs du stress oxydatif), augmentation de certains marqueurs de l'adaptation à l'activité physique (COX4 prot [#] , PGC-1a cytosol [#] , CDC42 mRNA [#] , MAPK1 mRNA [#]) Pas de différences : RER, lactate, VO ₂ max, pulsation, pour 60 et 80% de la VO ₂ max, masse maigre, masse grasse, %masse grasse, marqueurs de l'adaptation à l'activité physique (COX4-mRNA, PGC-1a dans le noyau et mRNA, HSP60 dans cytosol, noyau et mRNA, HSP70 dans le cytosol et noyau)
Roberts et al. (44)	10 km contre la montre (min : s ± ET) : Vit. C Pla. YoYo test 1 (m ± ET) : Vit. C Pla. YoYo test 2 (m ± ET) : Vit. C Pla.	54:31 ± 7:09 50:46 ± 5:11 950 ± 432 1114 ± 327 375 ± 102 337 ± 107	47:01 ± 5.57* 45:08 ± 3:01* 1155 ± 395* 1297 ± 415* 395 ± 116* 371 ± 99*	Pas de différences : VO ₂ max, RER, oxydation des lipides et glucides

Auteurs	Tests et Groupes	Résultats		Autres résultats Différences entre les groupes
		Avant int.	Après int.	
Sharman et al. (45)	400 m de natation (s ± ET) :			Groupe vitamine : Breath-holding ability [#] (capacité à retenir la respiration sur la durée) Pas de différences : Age, taille, poids, BMI, mesure des cinq plis cutanés, autres tests d'efficacité cardio-respiratoire (fonction pulmonaire, électrocardiogramme au repos, modified Schneider index, modified step test)
	Vit. E	442.1 ± 74.8	418.2 ± 59.8*	
	Pla.	451.5 ± 60.2	413.1 ± 52.3*	
	1600 m de course à pied (s ± ET) :			
	Vit. E	369.5 ± 20.3	365.9 ± 36.3	
	Pla.	369.8 ± 26.8	374.0 ± 27.7	
	Tractions (nbre ± ET) :			
	Vit. E	5.2 ± 31	6.5 ± 3.4	
	Pla.	4.6 ± 2.9	6.1 ± 3.3	
	Pompes (nbre ± ET) :			
	Vit. E	5.0 ± 3.9	7.2 ± 4.0	
	Pla.	5.5 ± 4.5	6.5 ± 4.7	
	Redressements assis (nbre ± ET) :			
	Vit. E	22.4 ± 9.8	24.9 ± 8.6	
	Pla.	21.6 ± 13.0	24.0 ± 10.8	
	Développés couchés (nbre ± ET) :			
Vit. E	47.8 ± 9.8	53.0 ± 9.5		
Pla.	48.0 ± 11.3	53.1 ± 13.4		
Abréviations : AOX : antioxydant ; AST : aspartate transaminase ; BMI : body mass index ; CC16 : clara cell protein 16 ; CDC42 : cell division control protein 42 homolog ; CK : creatine kinase ; conc. : concentration ; COX4 : cytochrome c oxidase subunit 4 ; CP : carbonylated proteins ; ET : écart-type ; HSP60 : heat shock proteins 60 ; HSP70 : heat shock proteins 70 ; m : mètre ; int. : intervention ; MAPK1 : mitogen-activated protein kinase 1 ; km : kilomètre ; MDA : malondialdehyde ; min : minute ; m-RNA : acide ribonucléique messenger ; nbre : nombre ; PGC-1a ; peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1a ; pla. : groupe placebo ; RER : respiratory exchange ratio ; s : seconde ; TEAC : trolox equivalent antioxidant capacity ; TTE : time to exhaustion ; vit. : vitamine				
Statistiquement significatif : différences dans les groupes : * p < 0.05 ; différences entre les groupes : # p < 0.05				

Dans les études de Paulsen et al. (43), Roberts et al. (44) et Sharman et al. (45), il y avait une amélioration significative des performances, tant dans les groupes placebo que vitamine. Pour Sharman et al. (45), cette amélioration était limitée au test de natation, discipline principale pour laquelle les étudiants s'étaient entraînés régulièrement.

Sur les six articles analysés, nous n'avons constaté aucun résultat statistiquement significatif dans l'amélioration des performances physiques entre les groupes suite à des tests de capacité et de force (40–45). Certains autres résultats ont montré une différence significative entre les groupes : l'augmentation de la concentration plasmatique en vitamines C et E (42,43), l'augmentation de marqueurs du stress oxydatif et de marqueurs de l'adaptation à l'activité physique (43), la capacité à retenir la respiration (45).

En résumé, le nombre de participants, leur niveau d'entraînement, le sport pratiqué, les doses administrées et la durée de supplémentation n'ont eu aucun impact significatif sur les différences de performances physiques entre les groupes d'intervention et contrôle (40–45).

5.3 Résultats qualitatifs

5.3.1 Description de la grille

La grille de qualité (annexe IV) (39) nous a permis d'analyser la qualité des études sélectionnées et de déterminer si elles étaient de niveau neutre, négatif ou positif. La grille comprenait deux groupes de questions : sur la pertinence et sur la validité. Les questions de validité approfondissaient divers aspects dont les quatre critères principaux étaient les suivants :

- La sélection des sujets ;
- La comparaison des groupes étudiés ;
- La description de l'intervention, des plans de traitement, des facteurs d'exposition ou de la procédure ;
- La définition des variables de résultat et la fiabilité et validité des mesures.

L'étude était considérée de qualité positive si tous les critères évoqués ci-dessus ainsi que la majorité des questions étaient validés. L'étude était jugée de qualité négative si la majorité des réponses étaient négatives, cela voulait dire que l'étude n'était pas forcément robuste. Les études qui se situaient entre ces deux classifications étaient de qualité neutre.

Certaines questions de la grille ne correspondaient pas aux types d'études que nous avons évalués. C'est pourquoi, des critères ont été adaptés pour analyser au mieux la qualité des articles.

5.3.2 Analyse des critères pertinents

Critère : Sélection des sujets

Dans les études analysées, les caractéristiques sociodémographiques étaient décrites de manière superficielle (40–45). Les auteurs ont recherché une population active sans tenir compte d'autres paramètres. Sur six études, quatre n'ont pas fait mention de leurs critères d'inclusion et d'exclusion (40,43–45).

Nous avons évalué ce critère en l'adaptant à nos besoins puisque les participants et leur environnement n'étaient pas toujours bien décrits. Pour ce faire, nous avons regroupé toutes les informations utiles afin de pouvoir définir au mieux la population en indiquant le type de sport pratiqué, l'intensité et la fréquence des entraînements.

Trois études (40,42,45) ont sélectionné leurs sujets dans la population estudiantine alors que pour les trois autres (41,43,44), l'origine des sujets n'est pas connue.

Critère : Groupes étudiés et comparaison

Les groupes étudiés étaient comparables entre eux car toutes les études ont fait l'objet d'une randomisation en double aveugle (40–45). Les méthodes de randomisation étaient expliquées de manière générale. Des précisions ont été ajoutées notamment pour Roberts et al. (44) et Sharman et al. (45) où les paires ont été assorties. Pour Paulsen et al. (43), la randomisation a été effectuée par stratification. La distribution des caractéristiques de la population (p. ex. indice de masse corporelle, taille, âge) était généralement similaire. Nos études étaient longitudinales et prospectives (40–45). Cette façon de récolter les données a permis une intervention simultanée entre les groupes.

Critère : Description de l'intervention

Certaines réponses aux questions de ce critère manquaient de précisions. Les études d'Askari et al. (40), Gaeini et al. (41) et Gomes et al. (42) n'ont pas relevé la compliance des sujets pour la supplémentation. L'intensité et la durée de la supplémentation ont été évaluées positivement si elles étaient applicables et réalistes. Pour quatre études, les doses étaient égales ou supérieures au seuil de toxicité. Nous les avons donc jugées comme négatives (41,43–45).

Au final, la description de l'intervention a été évaluée comme positive pour la plupart des études. Les protocoles des interventions de supplémentation et des co-interventions étaient largement décrits dans les études sélectionnées. Les interventions étaient effectuées de manière systématique pour tous les groupes et pour chacune des études. Nous avons été attentives aux mesures nutritionnelles mises en place pour limiter l'influence de l'alimentation sur l'outcome (40–45). Toutes les études (40,41,43–45) ont pris en compte cette composante à l'exception de celle de Gomes et al. (42).

Critère : Conclusion

Les conclusions des études comprenaient des éléments énoncés au préalable dans la discussion et les résultats. Les biais et les limites des études ont été identifiés et discutés, néanmoins de manière très succincte dans les études de Gaeini et al. (41) et Paulsen et al. (43).

5.3.3 Synthèse

Sur les quatre critères prévalant pour définir une étude de qualité positive, celui de la sélection des sujets a été évalué de qualité moindre par rapport aux autres critères. La gestion des groupes, les éléments des interventions ainsi que les variables et les mesures utilisées ont été jugés de bonne qualité. Ainsi, en tenant compte des critères adaptés à notre recherche, nous avons jugé les études Askari et al. (40), Gaeini et al. (41) et Roberts et al. (44) de niveau neutre et les études de Gomes et al. (42), Paulsen et al. (43) et Sharman et al. (45) de niveau positif.

6 Discussion

6.1 Rappel des résultats saillants

Aucune de nos six études n'a montré qu'une supplémentation en vitamines C et/ou E a un impact positif sur la performance sportive, quel que soit le niveau d'endurance des sportifs, du sport pratiqué, de la dose et de la durée de la supplémentation. Pour la plupart des autres résultats, les conclusions étaient similaires, il n'y avait pas de différence significative entre les groupes (40–45). Par exemple, pour les tests évaluant la mesure de la $VO_2\text{max}$ (41–44), la composition corporelle (40,43,45) ou les pulsations (42,43,45), aucun n'a montré de résultat significatif en comparant les groupes supplémentés aux groupes contrôles.

6.2 Amélioration des performances

Trois études, Paulsen et al. (43), Roberts et al. (44) et Sharman et al. (45) ont montré une amélioration significative des performances dans les groupes placebo et vitamine. Cette amélioration était probablement liée au fait qu'une intervention d'entraînement physique a été ajoutée durant la période de l'étude. Dans ce cas, l'impact de l'entraînement sur la performance était plus important qu'un éventuel impact de la supplémentation.

6.3 Protéines et gènes

Paulsen et al. (43) ont analysé des protéines et des gènes intervenant dans l'adaptation à l'entraînement. Parmi ces molécules testées, certaines étaient en augmentation pour le groupe placebo ou en diminution dans le groupe intervention. Ces résultats soulevaient que la supplémentation en antioxydants entravait la signalisation dans la cellule musculaire, diminuant une certaine adaptation induite par l'entraînement. Toutefois, ces résultats n'avaient pas d'influence sur la performance.

6.4 Surdosage

Selon la Société Suisse de Nutrition, la dose maximale de vitamine C est de 1000 mg/jour (19). Cette dose a été administrée dans deux de nos études, Paulsen et al. (43) et Roberts et al. (44). Pour la vitamine E, la dose maximale se situe à 200 mg/jour (20). Dans l'étude de Sharman et al. (45), les participants ont reçu 400 mg/jour, celle de Gaeini et al. (41) 450 mg/j 5x/sem. et celle de Paulsen et al. (43), 235 mg/jour.

Selon Gleeson et al., plusieurs études ont testé des hautes doses de vitamine E (appelées "mégadoses") chez des adultes et des sportifs en bonne santé. Il ressort que des effets négatifs étaient possibles à partir d'une dose de 300 à 600 mg/jour sur une durée de trois à dix semaines. Ces effets étaient observables par une augmentation du stress oxydatif et de l'inflammation (48). Deux de nos études, Gaeini et al. (41) et Sharman et al. (45) se trouvent dans cette fourchette quant à la dose et la durée de la supplémentation. Sur cette base, nous pourrions nous attendre à une baisse de la performance des participants supplémentés, ce qui n'était pas le cas. Il n'y avait également pas d'augmentation des marqueurs du stress oxydatif dans l'étude de Gaeini et al. (41).

Toujours selon Gleeson et al., l'excès d'apport en vitamine C aurait moins d'impacts délétères sur l'organisme, à l'exception de douleurs abdominales et de diarrhée. Ces effets pouvaient apparaître dès qu'une dose de 1000 mg/jour était consommée (48). Deux études présentent ces valeurs-là (43,44).

Selon Berger, les études effectuées sur la population générale, dans lesquelles la substitution et la supplémentation en oligoéléments et en vitamines respectent les doses physiologiques et alimentaires ont des bénéfices sur l'organisme. Par contre, la supplémentation à forte dose chez les sujets à statut normal est potentiellement toxique. Elle est associée à des risques oncologiques, cardiovasculaires et à une augmentation de la mortalité. C'est notamment le cas de la vitamine E. À l'heure actuelle, la controverse persiste quant à une supplémentation systématique à cause du risque de surdosage. Elle est surtout liée aux doses administrées et au statut de départ qui n'est pas pris en compte (13).

Au final, quatre de nos études ont des valeurs correspondant à la limite de sécurité recommandée par la Société Suisse de Nutrition mais aucune ne prend en compte les apports en vitamines C ou E par l'alimentation (19,20,41,43–45). Ce seuil serait donc largement dépassé si nous tenions compte de l'alimentation quotidienne des sujets.

6.5 Taux plasmatique des vitamines C et E

Gomes et al. (42) et Paulsen et al. (43) ont mesuré le taux plasmatique des vitamines C et E. Il est ressorti de ces études que les groupes ayant reçu la supplémentation ont augmenté significativement leur taux plasmatique en vitamines C et E. L'étude de Gomes et al. (42) a mis en avant qu'il y avait une corrélation entre le taux plasmatique de vitamines C et E et le résultat de la performance. Les athlètes avec une concentration plus élevée sembleraient avoir une meilleure performance dans un environnement tel que celui de l'étude (chambre environnementale). Cet échantillon ne comptait que neuf athlètes, ce qui ne permet pas de tirer de conclusions sur cet effet.

Une étude de Hoogerwerf et Hoitink a analysé l'effet de l'administration de la vitamine C sur l'efficacité mécanique de l'organisme. Elle mentionne que l'organisme des participants du groupe placebo n'avait pas un taux plasmatique saturé. Chez les participants supplémentés, un état de saturation a été constaté après la supplémentation et celui-ci s'est révélé diminuer le métabolisme excessif de l'exercice et augmenter la capacité de travail des sujets (49). Cependant, les résultats des tests physiques n'étaient pas détaillés et il n'y avait pas de comparaisons entre les groupes. Il est donc difficile d'interpréter ces résultats.

En somme, avoir un taux plasmatique de vitamines C et E élevé serait bénéfique et pourrait alors avoir un impact sur la performance physique mais il n'y a pas de résultats probants qui vont dans ce sens.

6.6 Carences du sportif

Plusieurs revues, dont les dernières recommandations de 2013 du Comité International Olympique, mettent en avant les éventuelles carences auxquelles un sportif peut être exposé (18,23,25,50). Elles soulèvent également qu'une alimentation bien équilibrée, adéquate, suffisante en énergie et riche en nutriments est gage d'amélioration des performances et de meilleure adaptation à l'entraînement (25,50). De plus, des études montrent qu'il n'est pas rare que les habitudes alimentaires de la population sportive soient déséquilibrées et que cela

occasionne des déficits nutritionnels (18,25). Rodriguez et al. (25) énoncent même les micronutriments les plus fréquemment retrouvés en statut de carences chez les athlètes : calcium, vitamine D, vitamines B, fer, zinc, magnésium et antioxydants tels que bêta-carotène et sélénium ainsi que les vitamines C et E.

Il est dès lors surprenant de constater que seuls Paulsen et al. (43) ont analysé le taux sanguin des vitamines C et E avant le début de l'étude sans pour autant avoir effectué un lien avec les carences éventuelles de cette population spécifique. En l'occurrence, les valeurs des sujets étaient supérieures aux valeurs de références. L'étude de Sharman et al. (45) est partie du principe que les sujets avaient une alimentation adéquate selon les apports nutritionnels recommandés pour le Royaume-Uni. Bien que les études aient pris des mesures nutritionnelles pour limiter l'influence de l'alimentation sur l'outcome, aucune n'a attaché d'importance à la qualité de l'alimentation des sujets étudiés avant ou pendant l'étude.

Selon Driskell et Wolinsky, lorsque des vitamines ou oligo-éléments sont déficitaires, une baisse des performances physiques est observée. Selon ces deux auteurs, il est admis qu'à ce stade des connaissances, une déficience en vitamines B1, B2, B6, C et E et/ou en fer pourrait être délétère sur les performances physiques humaines (51).

6.7 Besoins augmentés du sportif

Selon Rodriguez, l'activité physique exerce un stress sur les voies métaboliques et induit des adaptations musculaires qui augmentent les besoins en micronutriments (25). Des apports plus importants en micronutriments pourraient donc être nécessaires afin de pallier les besoins accrus de synthèse, réparation et maintien de la masse maigre chez les athlètes (25,51).

Les recommandations nutritionnelles pour la population ne sont pas figées. Les quantités d'aliments proposés ont une valeur indicative. Les portions sont inévitablement modulées par des besoins énergétiques qui fluctuent en fonction de l'âge, du sexe, de la taille et bien entendu de l'activité physique. Dès lors, les portions doivent être ajustées. Aussi, les recommandations nutritionnelles spécifiques à la population sportive sont adaptées et les besoins augmentés afin de tenir compte de l'énergie et des substances nutritives supplémentaires que requiert la pratique d'une activité physique (23,52,53).

Finalement, il n'y a pas de raisons apparentes de manquer d'énergie et de nutriments si les apports sont ajustés et que les recommandations sont respectées. La prudence est toutefois de mise pour les groupes à risque tels que ceux énoncés dans le cadre de référence sous le point 2.4.4. En cas de carences avérées, il peut être bénéfique de compléter l'alimentation.

6.8 Méthodologie

Lors de l'analyse de nos six articles, nous avons relevé des problèmes méthodologiques liés notamment à la population. Seule une étude a été menée sur des femmes (43). Les populations ainsi que leur environnement n'ont pas toujours été bien décrits. Les études ont été conduites sur une population de majorité caucasienne dont la moitié était des étudiants. Le type de sport pratiqué, l'intensité et la fréquence des entraînements n'ont pas été clairement détaillés dans tous les articles bien qu'ils étaient centrés sur le sport. Pour pouvoir généraliser les résultats, l'échantillon étudié devrait être représentatif de la population. Si les sujets ne

sont pas suffisamment décrits, il est impossible de savoir à quelle population s'appliquent les résultats obtenus.

6.9 Sportifs d'élite

Les six études retenues concernaient des sportifs amateurs et non des sportifs d'élite. Est-ce que les résultats auraient été différents si les études avaient été menées sur des sportifs d'élite ? Dans une étude conduite sur des cyclistes professionnels, les sujets avaient reçu une supplémentation de vitamine E à raison de 330 mg/jour sur une période de 21.6 semaines. Ils ont été soumis à un test de capacité selon des seuils de lactate. Il ne ressort aucun résultat significatif entre les groupes (54).

6.10 Population âgée

La population étudiée dans nos articles était âgée de 15 à 33 ans, sujets relativement jeunes alors que la population plus âgée est également active physiquement. En Suisse en 2017, 82% des hommes et 75% des femmes de 64 à 75 ans étaient considérés comme suffisamment actifs, soit plus des trois quarts à atteindre les recommandations de l'OMS (55,56). De plus, l'âge de la population est en constante augmentation. D'ici 2050, la population de plus de 60 ans doublera avec une augmentation particulièrement rapide du nombre de personnes de plus de 80 ans. L'objectif de garder cette population autonome fait partie des objectifs généraux de l'European Innovation Partnership on Active and Healthy Ageing (57,58). Il serait donc intéressant de savoir si les antioxydants pourraient être bénéfiques sur la capacité physique dans cette population.

Un essai clinique randomisé a été mené sur des personnes de 64 à 79 ans et résidant dans une maison de retraite. Elles ont reçu une dose de vitamine E de 900 mg/jour et suivi un entraînement physique comprenant une marche trois fois par semaine durant une période de six mois. Les résultats ont montré que l'amélioration des capacités physiques était due à l'entraînement et non à la supplémentation (59).

Un autre essai clinique randomisé mené sur des personnes de plus de 60 ans, non institutionnalisées, avec une supplémentation de 200 mg/jour de vitamine E administrée sur une période de quatorze mois avait considérablement augmenté la gravité des infections, la durée des maladies diminuer en conséquence la pratique de l'activité physique (60).

Les résultats mentionnés ci-dessus sont analogues aux résultats retrouvés dans le cadre de notre travail. Nous pouvons en déduire que l'activité physique permet de maintenir les capacités physiques de la population âgée en bonne santé (représentative des études citées). Une supplémentation en vitamine E ne semblerait pas être bénéfique pour cette population. Même, une exposition prolongée et à trop forte dose se révélerait délétère.

6.11 Biais et limites de notre travail

La définition de nos critères d'inclusion et d'exclusion comporte inévitablement des limites. Nous avons pour but de choisir une population hétérogène afin d'en tirer des conclusions pour l'ensemble de la population. Finalement, notre échantillon était composé principalement d'hommes, jeunes et amateurs. Lors de notre recherche dans les deux bases de données, nous avons beaucoup d'articles à trier. Afin de cibler la recherche, nous avons choisi les tests les plus adaptés à la mesure d'un effet de la supplémentation sur les performances physiques,

à savoir les tests de capacité. Ce critère a grandement diminué le nombre d'études entrant en matière pour notre analyse et, par conséquent, réduit la taille de l'échantillon, ce qui explique en partie son homogénéité.

Nous avons intégré à notre équation de recherche les tests de force qui nous semblaient être pertinents pour évaluer la performance physique de sportifs d'endurance. Toutefois, les tests réalisés pour évaluer la performance doivent être spécifiques en s'approchant au mieux de la discipline sportive en question (28). Les tests de force n'étaient pas adaptés aux sports d'endurance et donc à l'outcome recherché. Les inclure dans notre question de recherche et dans nos résultats n'a pas apporté de plus-value à notre travail.

Cette revue de littérature n'est pas systématique, elle a été réalisée uniquement sur les bases de données PubMed et Embase. Il se peut que des études publiées ailleurs n'aient pas été retenues. De plus, le fait d'avoir exclu les articles qui ne parlaient pas de performance dans l'abstract est une limite à notre travail. Certains articles ont peut-être échappé à notre sélection alors qu'une mesure des performances était effectuée avec des tests qui correspondaient à nos critères.

6.12 Biais et limites des travaux inclus

L'étude Askari et al. (40) a mentionné le niveau d'entraînement trop hétérogène de ses participants. Ces biais sont en général atténués par la randomisation mais des différences risquent d'apparaître si l'échantillon est petit. C'est le cas notamment des études Gomes et al. (42) et Roberts et al. (44) avec une population de respectivement neuf et quinze sujets. Il est difficile de recruter des participants motivés, qui doivent prendre du temps et changer leurs habitudes (42).

Au sujet de la supplémentation, Sharman et al. (45) ont mentionné le fait de n'avoir effectué aucun contrôle sur l'alimentation et les activités, ce qui était une limite à leur étude. Pourtant, dans cette étude, il y avait le contexte de l'internat qui induisait d'office un certain contrôle de l'alimentation et l'activité physique. Quant à Gomes et al. (42), ils ont mis en avant le métabolisme des vitamines le quel pouvait fluctuer considérablement entre les participants.

Les interventions d'entraînements physiques dans l'étude de Sharman et al. (45) ont été réalisées auprès d'étudiants pendant leur période d'examens, ce qui a diminué la motivation et l'engagement des participants. Dans cette même étude, des incohérences pouvaient être présentes dans les mesures des tests car elles n'ont pas été réalisées systématiquement par la même personne.

6.13 Impact sur nos résultats

À notre sens, les résultats obtenus peuvent s'expliquer de deux manières, soit la supplémentation en vitamines C et E n'a aucun impact sur la performance physique d'endurance pour les populations testées, soit la méthodologie des études ne permettait pas d'observer une différence.

De nombreux problèmes portent préjudice à l'interprétation des résultats obtenus dans les études de supplémentation et son effet sur l'exercice. Il existe de grandes disparités entre les populations étudiées et leur environnement, les posologies et les formes de supplémentation, les protocoles d'intervention et les méthodologies pour la mesure de performance (4,51). Pour

rappel, la population, le niveau d'entraînement et l'environnement ont été mal décrits dans nos études et seule une étude a intégré des femmes. En plus, trois études n'ont pas réalisé d'intervention d'entraînement physique ce qui ajoute une différence (40–42). Les interventions physiques réalisées dans les autres études étaient toutes différentes (43–45).

Les études analysent l'effet de la supplémentation sur de petits groupes, ce qui est le cas dans notre travail, et n'utilisent pas le plan croisé, ce qui permet d'éviter les erreurs de type I et de type II (4). Seule une de nos études est de type cross over (42).

Peternelji et al. mettent l'accent sur la supplémentation et ses particularités (4). Ils concluent que les résultats peuvent s'avérer être négatifs en raison d'un dosage ou d'une durée de supplémentation trop faible ou par des techniques qui ne sont pas assez sensibles pour détecter une différence. De plus, il faudrait impérativement tenir compte de la biodisponibilité et de la pharmacocinétique des antioxydants ainsi que du profil génétique car chaque personne réagit de manière différente à un antioxydant (4). Gomes et al. (42) avaient aussi fait part de ces éléments à la fin de leur étude. Dans nos études, il y avait des divergences entre la dose et la durée (40–45).

Les études de supplémentation sont chères, délicates à mener, et ne sont pas obligatoires pour mettre un supplément sur le marché. La supplémentation n'est jamais un terrain neutre car les micronutriments testés sont déjà présents dans l'alimentation. Il est donc difficile d'avoir une main mise sur l'effet de la supplémentation uniquement et il serait important de connaître réellement l'alimentation du sujet. Cependant, évaluer des apports alimentaires comporte également des biais. De plus, la performance physique ne se limite pas à la prise ou non de suppléments. Le sommeil, la récupération, le stress et l'alimentation quotidienne sont des composantes importantes des performances (25,50,61,62). Les trois premiers aspects n'ont pas été abordés dans les études incluses.

6.14 Nos points forts

La méthodologie du travail a été respectée et toutes les étapes ont été effectuées de manière systématique. Plusieurs fichiers Excel ont été réalisés pour chaque phase du travail. Nous avons donc la possibilité de revenir en arrière si nécessaire. Lorsque les critères d'inclusion et d'exclusion ont été validés de manière définitive, nous avons contrôlé à nouveau chaque article par l'abstract. De plus, lors de nos divers contrôles et malgré notre vigilance, deux MeSH Term nécessaires à notre recherche nous ont échappé, et nous avons donc repris le processus depuis le début. À deux reprises, nous avons vérifié notre équation sur les bases de données Pubmed et Embase.

Le but notre recherche était d'inclure une population la plus large possible afin de pouvoir émettre des recommandations pour la population générale. Pour cela, nous avons inclus les sportifs amateurs et les sportifs d'élite. Au final, les sujets des études retenues étaient de jeunes sportifs, ce qui peut être considéré comme un groupe spécifique. Nous avons concentré notre travail sur des études réalisées avec des humains car il serait difficile d'interpréter des résultats effectués sur des animaux et de les transposer à l'homme. Seule la supplémentation avec les vitamines C et/ou E a été retenue. Cela est un atout car nous avons pu dégager des résultats propres à ces deux vitamines, ce qui n'aurait pas été possible si la supplémentation était combinée à d'autres molécules. Aussi, s'agissant de gélule à prendre à

un moment précis, la compliance est davantage garantie. Évaluer l'apport en vitamines via l'alimentation quotidienne serait complexe et moins fiable.

Pour finir, nous avons été attentives aux nouvelles revues qui auraient pu être publiées sur notre thème durant la période de notre travail au travers d'alarmes insérées sur les sites de Pubmed et Embase.

7 Perspectives

Les athlètes, toujours à la recherche de moyens pour améliorer leur performance, sont bons clients pour toutes sortes de suppléments, y compris des antioxydants. La promotion de ceux-ci s'appuie sur des allégations dont nous souhaitons vérifier la véracité.

Dans la littérature scientifique, le terme "athlète" est communément utilisé pour qualifier des sportifs dont les niveaux peuvent être très différents. Des comparaisons entre participants de différentes études nécessiteraient une description plus précise des niveaux des athlètes.

Nous constatons qu'il est laborieux de mesurer l'effet d'une supplémentation sur la performance physique. L'amélioration des performances physiques dépend de plusieurs facteurs parmi lesquels la prise d'antioxydants ne joue peut-être qu'un faible rôle. Notre travail ne comprend que des sportifs amateurs, serait-il plus judicieux de sélectionner des athlètes d'élite pour mener ce type d'analyses ? Ceux-ci sont poussés à la perfection, les éléments menant à l'amélioration de leur niveau sportif sont étudiés et travaillés dans le but d'optimiser au maximum leur performance. Il devient donc difficile d'améliorer les performances et rendre leur niveau encore plus parfait. Dès lors, nous pensons qu'il est complexe de conduire des études sur des sportifs d'élite dans lesquelles une amplitude mesurable de la performance physique puisse être attribuée à une supplémentation.

Les six études incluses dans notre travail n'ont, à notre sens, pas suffisamment tenu compte de l'alimentation des participants (40–45). L'alimentation équilibrée et la nutrition du sport représentées à la base de la pyramide développée par Jeukendrup sont essentielles (figure 4) (26). Elles font partie intégrante des composants qui améliorent les performances générales d'un sportif. L'effet de la nutrition a un impact plus fort que l'effet de la supplémentation sur la performance physique (26). Est-ce vraiment pertinent de chercher un effet avec une supplémentation si la base de la pyramide n'est pas adéquate ? Pour répondre à cette question, de nouvelles études sont nécessaires mettant l'accent sur cet aspect en optimisant l'alimentation des participants, par exemple en faisant intervenir des diététiciens avec des cours et des consultations individualisées sur la nutrition sportive.

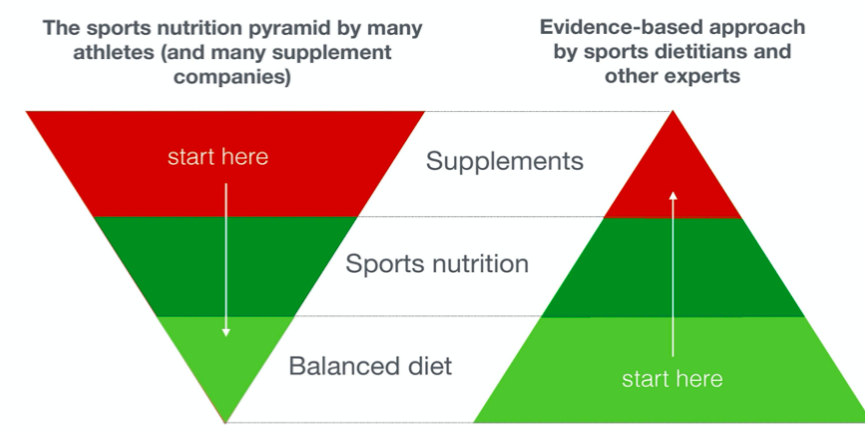


Figure 4 : Représentations de la nutrition par les sportifs et les experts

Pour finir, nous estimons qu'il est important que la population sportive ait un regard critique sur les informations véhiculées par les médias au sujet des produits pour sportifs.

8 Conclusion

Notre travail de Bachelor, sur la base des études analysées, ne nous permet pas de conclure qu'une supplémentation en vitamines C et/ou E améliore la performance physique dans la pratique d'un sport d'endurance. Aucun résultat n'a pas pu être dégagé en faveur de la supplémentation, quels que soient les doses ou les durées de celle-ci, l'âge, le niveau d'endurance des participants ou le sport pratiqué.

Arrivées au terme de notre travail, nous constatons qu'améliorer des performances physiques repose sur de nombreux paramètres tels que l'entraînement, la récupération, l'alimentation, le stress et bien d'autres encore. En comparaison de tous ces facteurs, l'impact d'une supplémentation en antioxydants sur la performance physique, pour autant qu'elle existe, semble négligeable.

Une consommation répétée d'antioxydants associée à une alimentation habituelle augmente le risque de surdosage et les effets indésirables qui en découlent. La prudence est donc de mise.

Avant d'avoir recours à une quelconque supplémentation, l'alimentation du sportif devrait être adéquate, tant au niveau de sa qualité que de sa quantité. La supplémentation ne devrait pas remplacer l'alimentation de base.

Bien qu'une attention particulière doit être portée aux groupes à risque de carences, pour lesquels compléter l'alimentation est utile lorsque le déficit est avéré, ce travail ne nous permet pas d'émettre des recommandations pour une supplémentation en vitamines C et/ou E dans le but d'améliorer les performances physiques.

9 Remerciements

Nous tenons à remercier très sincèrement notre Directrice de Travail de Bachelor, Madame Maaïke Kruseman, PhD, Professeure HES associée à la Haute école de santé de Genève, filière nutrition et diététique à Genève pour son précieux soutien, sa disponibilité et sa bienveillance tout au long de cette année.

Nous remercions également Monsieur Virgile Lecoultré, Docteur en physiologie, du centre métabolique de l'Hôpital Intercantonal de la Broye à Estavayer-le-Lac pour sa présence en tant que membre du Jury lors de notre soutenance.

Nous souhaitons remercier Monsieur Jean-David Sandoz, bibliothécaire-documentaliste à la Haute école de santé de Genève pour son aide concernant les recherches scientifiques.

Nous adressons nos remerciements à nos relecteurs assidus, Fabienne Borlat, François Cuany, Marie Golliez et Gonzague Page pour le temps qu'ils nous ont accordé.

Enfin, nous remercions nos familles, nos amis et nos camarades de classe pour leur présence et leur soutien au cours de l'élaboration de ce travail et durant toute notre formation.

10 Bibliographie

1. Organisation mondial de la santé. Activité physique [En ligne]. 2018 [cité 27 avril 2020]. Disponible sur : <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>
2. Marques-Vidal P, Pécoud A, Hayoz D, Paccaud F, Mooser V, Waeber G, et al. Prevalence and characteristics of vitamin or dietary supplement users in Lausanne, Switzerland: the CoLaus study. Eur J Clin Nutr [En ligne]. 2009 [cité 2 juillet 2020]; 63(2):273-81. Disponible sur : <https://www.nature.com/articles/1602932.pdf>
3. Société suisse de nutrition du sport. Suppléments nutritionnels [En ligne]. 2020 [cité 29 juin 2020]. Disponible sur : <http://www.ssns.ch/nutrition-du-sport/supplements/?lang=fr>
4. Peternelj T, Coombes JS. Antioxidant Supplementation during Exercise Training: Beneficial or Detrimental? Sports Med. 2011;41(12):1043-69. doi:10.2165/11594400-000000000-00000
5. Maughan RJ, Depiesse F, Geyer H. The use of dietary supplements by athletes. J Sports Sci. 2007;25(sup1):S103-13. doi:10.1080/02640410701607395
6. Lamprecht M, Fischer A, Stamm H. Sport Suisse 2014 : Activité et consommation sportives de la population suisse [En ligne]. 2014 [cité 2 juillet 2020]. Disponible sur : https://www.sportobs.ch/inhalte/Downloads/Sport_Schweiz_2014_f.pdf
7. Département fédéral de la défense, de la protection de la population et des sports. Concept de la Confédération concernant le sport populaire [En ligne]. 2020 [cité 2 juillet 2020]. Disponible sur : https://www.admin.ch/ch/f/gg/pc/documents/2698/Sport_Concept-sport-populaire-Confederation_fr.pdf
8. Kempf H, Weber ACh, Renaud A, Stopper M. Le sport d'élite en Suisse – Etat des lieux SPLISS-CH 2011 [En ligne]. 2014 [cité 27 avril 2020]. Disponible sur : <https://www.baspo.admin.ch/fr/dokumentation/publikationen/leistungssport-schweiz.html>
9. Marieb EN, Hoehn K, Moussakova L, Lachaine R. Anatomie et physiologie humaines. Montreuil: Pearson; 2015.
10. Aérobie - Anaérobie lactique - Anaérobie alactique [En ligne]. 2020 [cité 2 juillet 2020]. Disponible sur : <https://www.prepa-physique.net/aerobie-anaerobie-lactique-anaerobie-alactique/>
11. Poortmans JR, Boisseau N. Biochimie des activités physiques. Bruxelles: De Boeck; 2004.
12. Desmier T. Les antioxydants de nos jours : définition et applications [Thèse en ligne]. Limoges: Université de Limoges; 2016 [cité 1 mai 2020]. Disponible sur : <http://aurore.unilim.fr/ori-oai-search/notice/view/unilim-ori-47443?lightbox=true>
13. Berger MM. Oligoéléments en Suisse et en Europe. Rev Med Suisse [En ligne]. 2012 [cité 1 juin 2020];8(360):2078-84. Disponible sur : <https://www.revmed.ch/RMS/2012/RMS-360/Oligoelements-en-Suisse-et-en-Europe>
14. Bohlmann F. Les compléments alimentaires. Tabula [En ligne]. 2011 [cité 1 mai 2020]; Disponible sur : http://www.sge-ssn.ch/media/Tabula-4-11_F_WEB.pdf

15. Berger MM. Micronutriments Au Quotidien: Quoi De Neuf ? Rev Med Suisse. 2020;16(679):226-7.
16. Hercberg S, Galan P, Preziosi P, Bertrais S, Mennen L, Malvy D, et al. The SU.VI.MAX Study: A Randomized, Placebo-Controlled Trial of the Health Effects of Antioxidant Vitamins and Minerals. Arch Intern Med [En ligne]. 2004 [cité 3 juillet 2020];164(21):2335. Disponible sur : <http://archinte.jamanetwork.com/article.aspx?doi=10.1001/archinte.164.21.2335>
17. Hercberg S, Kesse-Guyot E, Druet-Pecollo N, Touvier M, Favier A, Latino-Martel P, et al. Incidence of cancers, ischemic cardiovascular diseases and mortality during 5-year follow-up after stopping antioxidant vitamins and minerals supplements: a postintervention follow-up in the SU.VI.MAX Study. Int J Cancer [En ligne]. 2010 [cité 3 juillet 2020];127(8):1875-81. Disponible sur : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ijc.25201>
18. Kreider RB, Wilborn CD, Taylor L, Campbell B, Almada AL, Collins R, et al. ISSN exercise & sport nutrition review: research & recommendations. J Int Soc Sports Nutr [En ligne]. 2010 [cité le 10 juin 2020];7(1):7. Disponible sur: <https://jissn.biomedcentral.com/articles/10.1186/1550-2783-7-7>
19. Société Suisse de Nutrition. La vitamine C [En ligne]. 2015 [cité 4 mai 2020]. Disponible sur : <http://www.sge-ssn.ch/media/VitamineC.pdf>
20. Société Suisse de Nutrition. La vitamine E [En ligne]. 2015 [cité 4 mai 2020]. Disponible sur : <http://www.sge-ssn.ch/media/Vitamine-E.pdf>
21. Nikolaidis MG, Kerksick CM, Lamprecht M, McAnulty SR. Does Vitamin C and E Supplementation Impair the Favorable Adaptations of Regular Exercise? Oxid Med Cell Longev [En ligne]. 2012 [cité 4 juillet 2020];2012:1-11. Disponible sur : <http://www.hindawi.com/journals/omcl/2012/707941/>
22. Sobal J, Marquart LF. Vitamin/Mineral Supplement Use among Athletes: A Review of the Literature. Int J Sport Nutr. 1994;4(4):320-34. doi: 10.1123/ijns.4.4.320
23. Potgieter S. Sport nutrition: A review of the latest guidelines for exercise and sport nutrition from the American College of Sport Nutrition, the International Olympic Committee and the International Society for Sports Nutrition. South Afr J Clin Nutr. 2013;26(1):6-16. doi: 10.1080/16070658.2013.11734434
24. Société suisse de nutrition du sport. Guide des suppléments nutritionnels [En ligne]. 2020 [cité 29 juin 2020]. Disponible sur : <http://www.ssns.ch/nutrition-du-sport/supplements/guide-des-supplements-nutritionnels/?lang=fr>
25. Rodriguez NR, DiMarco NM, Langley S. Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and athletic performance. J Am Diet Assoc [En ligne]. 2009 [cité 10 juin 2020];109(3):509-27. Disponible sur : <https://jandonline.org/action/showPdf?pii=S0002-8223%2809%2900006-6>
26. Jeukendrup A. How would you construct a pyramid? [En ligne]. 2015 [cité 29 juin 2020]. Disponible sur : <https://www.mysportscience.com/post/2015/03/18/how-would-you-construct-a-pyramid>

27. Maier T, Gross M, Trösch S, Steiner T, Müller B, Bourban P, et al. Manuel de diagnostic de performance [En ligne]. 2016 [cité 14 avril 2020]. Disponible sur : https://www.swissolympic.ch/dam/jcr:6ea9b202-857b-4561-81de-bbc799b6b690/Diagnostic_de_performance_manual_160201_FR.pdf
28. Ziltener J-L, Leal S. Quelques tests de performance pour le sportif : lesquels et pour qui, leurs intérêts et interprétation. Rev Med Suisse [En ligne]. 2005 [cité 3 mai 2020];1(30577). Disponible sur : <https://www.revmed.ch/RMS/2005/RMS-28/30577>
29. Levine BD. VO₂max: what do we know, and what do we still need to know? J Physiol [En ligne]. 2008 [cité 1 mai 2020];586(Pt 1):25-34. Disponible sur : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2375567/>
30. Shvartz E, Reibold RC. Aerobic fitness norms for males and females aged 6 to 75 years: a review. Aviat Space Environ Med. 1990;61(1):3-11.
31. Université de Genève. Test d'effort maximal (VO₂max) - Division de la formation et des étudiants [En ligne]. 2017 [cité 15 mai 2020]. Disponible sur : <https://www.unige.ch/dife/sports/activites-de-z/casaps/mesure-de-la-vo2max/test-deffort-maximal/>
32. McGinley C, Shafat A, Donnelly AE. Does Antioxidant Vitamin Supplementation Protect against Muscle Damage? : Sports Med. 2009;39(12):1011-32. doi: 10.2165/11317890-000000000-00000
33. Close GL, Ashton T, McArdle A, MacLaren DPM. The emerging role of free radicals in delayed onset muscle soreness and contraction-induced muscle injury. Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol [En ligne]. 2005 [cité 19 novembre 2019];142(3):257-66. Disponible sur: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1095643305002710>
34. Margaritelis NV, Cobley JN, Paschalis V, Veskokouk AS, Theodorou AA, Kyparos A, et al. Going retro: Oxidative stress biomarkers in modern redox biology. Free Radic Biol Med. 2016;98:2-12. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2016.02.005
35. Rothschild JA, Bishop DJ. Effects of Dietary Supplements on Adaptations to Endurance Training. Sports Med. 2019;50:25-53. doi: 10.1007/s40279-019-01185-8
36. Braakhuis AJ, Hopkins WG. Impact of Dietary Antioxidants on Sport Performance: A Review. Sports Med. 2015;45(7):939-55. doi: 10.1007/s40279-015-0323-x
37. L'effet matrice, concept clé pour une alimentation moins transformée [En ligne]. 2019 [cité 1 juillet 2020]. Disponible sur : <https://siga.care/blog/effet-matrice-des-aliments/>
38. Fardet A, Souchon I, Dupont D. Structure des aliments et effets nutritionnels. [En ligne]. Versailles: Éditions Quæ; 2013 [cité 1 juillet 2020]. Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/267914275_Structure_des_aliments_et_effets_nutritionnels
39. Academy of Nutrition and Dietetics. Evidence Analysis Library [En ligne]. 2020 [cité 7 juillet 2020]. Disponible sur : <https://www.andeal.org/evidence-analysis-manual>
40. Askari G, Ghasvand R, Karimian J, Feizi A, Paknahad Z, Sharifirad G, et al. Does quercetin and vitamin C improve exercise performance, muscle damage, and body

- composition in male athletes? *J Res Med Sci* [En ligne]. 2012 [cité 13 février 2020];17(4):328-31. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23267392/>
41. Gaeini AA, Rahnema N, Hamedinia MR. Effects of vitamin E supplementation on oxidative stress at rest and after exercise to exhaustion in athletic students. *J Sports Med Phys Fitness*. sept 2006;46(3):458-61.
 42. Gomes EC, Allgrove JE, Florida-James G, Stone V. Effect of vitamin supplementation on lung injury and running performance in a hot, humid, and ozone-polluted environment: Antioxidants on lung injury and performance. *Scand J Med Sci Sports*. déc 2011;21(6):e452-60. doi: 10.1111/j.1600-0838.2011.01366.x
 43. Paulsen G, Cumming KT, Holden G, Hallén J, Rønnestad BR, Sveen O, et al. Vitamin C and E supplementation hampers cellular adaptation to endurance training in humans: a double-blind, randomised, controlled trial. *J Physiol* [En ligne]. 2014 [cité le 13 février 2020];592(8):1887-901. Disponible sur : <https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1113/jphysiol.2013.267419>
 44. Roberts LA, Beattie K, Close GL, Morton JP. Vitamin C Consumption Does Not Impair Training-Induced Improvements in Exercise Performance. *Int J Sports Physiol Perform*. mars 2011;6(1):58-69. doi: 10.1123/ijssp.6.1.58
 45. Sharman IM, Down MG, Sen RN. The effects of vitamin E and training on physiological function and athletic performance in adolescent swimmers. *Br J Nutr* [En ligne]. 1971 [cité 13 février 2020];26(2):265-76. Disponible sur : <https://www.cambridge.org/core/journals/british-journal-of-nutrition/article/effects-of-vitamin-e-and-training-on-physiological-function-and-athletic-performance-in-adolescent-swimmers/38ABA1CE232858A6D78532F15C423857>
 46. Léger LA, Mercier D, Gadoury C, Lambert J. The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *J Sports Sci*. 1988;6(2):93-101. doi: 10.1080/02640418808729800
 47. Bangsbo J, Iaia FM, Krstrup P. The Yo-Yo Intermittent Recovery Test: A Useful Tool for Evaluation of Physical Performance in Intermittent Sports. *Sports Med*. 2008;38(1):37-51. doi: 10.2165/00007256-200838010-00004
 48. Gleeson M, Nieman DC, Pedersen BK. Exercise, nutrition and immune function. *J Sports Sci*. janv 2004;22(1):115-25. doi: 10.1080/0264041031000140590
 49. Hoogerwerf A, Hoitink AWJH. The influence of vitamin C administration on the mechanical efficiency of the human organism. *Int Z Für Angew Physiol Einschließlich Arbeitsphysiologie*. 1963;20(2):164-72. doi: 10.1007/BF00699449
 50. Powers S, Nelson WB, Larson-Meyer E. Antioxidant and Vitamin D supplements for athletes: sense or nonsense? *J Sports Sci*. 2011;29 Suppl 1:S47-55. doi: 10.1080/02640414.2011.602098
 51. Driskell JA, Wolinsky I. Sports nutrition : vitamins and trace elements [En ligne]. Londres : Taylor&Francis; 2005 [cité le 17 juin 2020]. Disponible sur : <https://cpncampus.com/biblioteca/files/original/80438ca35f5968cf3d1c93d2d8d3cb16.pdf>

52. Société Suisse de Nutrition. La pyramide alimentaire suisse [En ligne]. 2016 [cité 20 mai 2020]. Disponible sur : http://www.sge-ssn.ch/media/sge_pyramid_long_F_2016.pdf
53. Swiss Forum for Sport Nutrition. Pyramide alimentaire pour les sportifs [En ligne]. 2008 [cité 2 juillet 2020]. Disponible sur : http://www.ssns.ch/wp-content/uploads/2016/10/Lebensmittelpyramide_Sport_F.pdf
54. Rokitzki L, Logemann E, Huber G, Keck E, Keul J. α -Tocopherol Supplementation in Racing Cyclists during Extreme Endurance Training. *Int J Sport Nutr.* 1994;4(3):253-64. doi: 10.1123/ijsn.4.3.253
55. Office fédéral de la statistique. Activité physique et santé, Enquête suisse sur la santé 2017 [En ligne]. 2019 [cité 27 avril 2020]. Disponible sur : <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home.assetdetail.9546739.html>
56. Organisation mondiale de la santé. Recommandations mondiales en matière d'activité physique pour la santé [En ligne]. 2020 [cité 29 avril 2020]. Disponible sur : https://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet_recommendations/fr/
57. European Commission. What is the European Innovation Partnership on Active and Healthy Ageing (EIP on AHA)? [En ligne]. 2016 [cité 14 juin 2020]. Disponible sur : https://ec.europa.eu/eip/ageing/about-the-partnership_en
58. Organisation mondial de la santé. Faits marquants sur le vieillissement [En ligne]. 2020 [cité 16 juin 2020]. Disponible sur : <https://www.who.int/ageing/about/facts/fr/>
59. Nalbant Ö, Toktaş N, Füsün Toraman N, Ögüş C, Aydın H, Kaçar C, et al. Vitamin E and aerobic exercise: effects on physical performance in older adults. *Aging Clin Exp Res.* 2009;21(2):111-21. doi: 10.1007/BF03325218
60. Graat JM, Schouten EG, Kok FJ. Effect of Daily Vitamin E and Multivitamin-Mineral Supplementation on Acute Respiratory Tract Infections in Elderly Persons: A Randomized Controlled Trial. *JAMA* [En ligne]. 2002 [cité 16 juin 2020];288(6):715. Disponible sur: <http://jama.jamanetwork.com/article.aspx?doi=10.1001/jama.288.6.715>
61. Davenne D. Alternance activité-repos, sommeil et récupération. *Cah INSEP* [En ligne]. 2000 [cité le 9 juillet 2020];27(1):99-112. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/insep_1241-0691_2000_num_27_1_1541
62. Gremion G, Kuntzer T. Fatigue et réduction de la performance motrice chez le sportif, syndrome de surentraînement. *Rev Med Suisse* [En ligne]. 2014 [cité le 9 juillet 2020];10(428):962-5. Disponible sur : <https://www.revmed.ch/RMS/2014/RMS-N-428/Fatigue-et-reduction-de-la-performance-motrice-chez-le-sportif-syndrome-de-surentraînement>

11 Annexes

Annexe I : Protocole de Travail de Bachelor

Annexe II : Tableau de Gantt

Annexe III : Grille d'analyse descriptive

Annexe IV : Grille d'analyse de la qualité

Annexe I : Protocole de Travail de Bachelor

h e d s

Haute école de santé
Genève
Filière Nutrition et diététique

Rue des Caroubiers 25
CH-1227 Carouge

T +41 22 388 34 60
F +41 22 388 34 50

diet.heds@hesge.ch
www.hesge.ch/heds

Quel est l'impact de la supplémentation en antioxydants sur la performance sportive d'endurance ?

Protocole de Travail de Bachelor

Borlat Clélia, n° matricule 17593419
Richoz Caroline, n° matricule 17593286

Directrice de TBSc : Maaïke Kruseman, Professeure associée HES

Genève, décembre 2019



Hes-SO GENÈVE
Haute école spécialisée
de Suisse occidentale



Table des matières

Table des matières

1. Résumé.....	3
2. Introduction.....	4
2.1. Formation de radicaux libres et réponse de l'organisme	4
2.2. Activité physique et supplémentation en antioxydants	5
2.3. Qualité des études	5
2.3.1. Méthodes de mesures des résultats	5
2.4. Éléments de la question de recherche.....	6
3. Question de recherche.....	7
4. Méthodes.....	8
4.1. Introduction	8
4.2. Design	9
4.3. Revue de littérature quasi-systématique	9
4.3.1. Question de recherche - rappel	9
4.3.2. Critères d'inclusion et d'exclusion	9
4.3.3. Stratégie pour identifier les études	9
4.3.4. Sélection des études	10
4.3.5. Recueil des données	10
4.3.6. Analyse des données	11
4.3.7. Tableau de Gantt.....	11
5. Considérations éthiques.....	11
6. Budget et ressources.....	11
7. Bibliographie.....	12
8. Annexes.....	13

1. Résumé

Appliquer les recommandations nutritionnelles pour un sportif d'élite ou amateur qui souhaite améliorer ses performances reste complexe. Beaucoup d'entre eux consomment des suppléments alimentaires ou des antioxydants, et ceci sans en connaître les véritables effets et en s'appuyant sur des conseils peu adéquats. Des croyances liées à ces méthodes sont aussi très présentes dans le milieu sportif, notamment celles d'améliorer la récupération et les performances. Lorsque le corps est exposé à des agressions comme le tabac, la pollution et notamment l'activité physique, des radicaux libres sont formés. Ces molécules sont instables et ont des conséquences physiologiques importantes. L'organisme est doté d'un système de défense, il se protège par le biais d'antioxydants endogènes mais aussi exogènes venant de l'alimentation. Quand la quantité de radicaux libres augmente et que la fonction antioxydante est dépassée, on parle de stress oxydatif. Dans le cadre d'un exercice physique, le stress oxydatif peut avoir des effets délétères, mais il va aussi jouer un rôle dans l'amélioration de la récupération après l'effort.

La prise d'antioxydants par les athlètes en vue d'obtenir des effets positifs sur leur performance sportive est très controversée dans la littérature. Aussi, la qualité des études est généralement peu satisfaisante que ce soit au niveau de la méthode ou des mesures utilisées pour les résultats. C'est pourquoi, avec ce travail, nous souhaitons répondre à la question suivante : « **Quel est l'impact de la supplémentation en antioxydants sur la performance sportive d'endurance ?** ».

Notre question de recherche est basée sur trois concepts pour lesquels des mots-clés ont été définis. La population sera composée de sportifs d'élite et amateurs pratiquant des exercices physiques d'endurance uniquement. Les antioxydants, les plus fréquemment étudiés, ont été sélectionnés suite aux différentes lectures effectuées sur le sujet. Nous avons déterminé la performance physique sur deux aspects ; la performance évaluée sur des tests physiques et sur la récupération fonctionnelle, soit l'impact de l'activité sur les muscles incluant notamment la capacité de force.

Nous réaliserons une revue de littérature regroupant les articles sélectionnés selon nos critères d'inclusion et d'exclusion. La revue de littérature permet de dégager l'état des connaissances actuelles sur un sujet. Elle semble donc adaptée à notre objectif. Nos recherches s'effectueront sur les bases de données Pubmed, Cinhal et Embase. Nous aimerions parvenir à une quantité finale de vingt articles et ceci, après trois niveaux de lecture. Les données seront recueillies selon des variables définies à l'avance correspondant aux trois concepts. Deux grilles de lecture seront utilisées pour cette tâche, l'une pour l'analyse descriptive et l'autre pour l'analyse de la qualité. Pour finir, un fichier excel de synthèse sera établi afin de pouvoir analyser les données préalablement collectées. Pour réaliser toutes ces étapes dans les meilleures conditions, un tableau de Gantt a été rédigé.

Les coûts seront les impressions des articles et les coûts liés aux impressions provisoires et finales. Enfin, nous nous appuierons sur des ressources scientifiques mais aussi humaines.

2. Introduction

Ce protocole décrit les étapes de notre futur travail de Bachelor qui a pour but de répondre à la question suivante :

Quel est l'impact de la supplémentation en antioxydants sur la performance sportive d'endurance ?

D'énormes progrès ont été effectués dans le domaine de l'alimentation sportive ces trente dernières années (1). Ce développement a permis d'améliorer la préparation des athlètes lors de compétitions sportives. Malgré cette avancée, un fossé reste toujours ouvert entre la pratique et la théorie, car il est très difficile d'appliquer les recommandations nutritionnelles pour un sportif élite ou amateur qui espère une performance optimale. Pour tenter de l'atteindre, le recours à la consommation de suppléments alimentaires et d'antioxydants est très courant (2).

2.1. Formation de radicaux libres et réponse de l'organisme

Les radicaux libres sont des molécules instables, ils ont la capacité de modifier leur structure au travers d'une réaction d'oxydo-réduction en prenant un électron à d'autres molécules. Ils peuvent être induits par l'environnement car le corps est perpétuellement soumis à des agressions venant de l'extérieur comme le rayonnement UV, le tabac ou encore la pollution. D'autre part, tout être humain produit physiologiquement des radicaux libres qui proviennent de la mitochondrie lors de la production d'énergie. Un exercice physique soutenu induit donc une production plus importante de ces substances. Les protéines, les lipides et l'ADN sont des cibles vulnérables de ces réactions. L'altération de ces structures favorise l'inflammation et les cellules sont plus susceptibles de subir une apoptose. Les dégâts de ces facteurs oxydants vont jusqu'à l'altération des fonctions cellulaires et physiologiques (3).

Afin de faire face à cette agression, l'organisme est doté d'un système de défense efficace. Il se protège par le biais d'antioxydants endogènes et d'antioxydants exogènes tels que les vitamines, les minéraux et les polyphénols fournis par l'alimentation (3).

Toutefois, une augmentation importante de radicaux libres (tout comme une diminution des antioxydants) peut surcharger ce système de défense et causer un dommage aux cellules et à l'organisme. L'équilibre homéostatique devient perturbé ; la capacité oxydante dépasse la capacité antioxydante. Ce déséquilibre s'appelle le stress oxydatif. Il est connu pour être impliqué dans le développement de certaines maladies inflammatoires, neurodégénératives, métaboliques et cardiovasculaires ainsi que des cancers. Il favorise également le vieillissement (3).

L'exercice physique est un élément qui induit un stress oxydatif mais au fil des entraînements, les cellules sont capables de s'y adapter et deviennent plus résistantes aux taux élevés de radicaux libres. Cette adaptation joue des rôles élémentaires dans l'organisme, il module l'activation des enzymes et des gènes. Cela permet entre autres de réguler la croissance et la prolifération des cellules et d'activer les voies de réparation de l'ADN. Finalement, ces adaptations permettent une meilleure récupération musculaire, une diminution de l'inflammation et de l'apoptose. Cependant, ce mécanisme reste très aléatoire selon le niveau du sportif et le type d'exercice physique effectué. Aussi, il ne survient qu'en cas d'exercice physique régulier (3).

2.2. Activité physique et supplémentation en antioxydants

Dans le cadre d'exercices physiques, les effets bénéfiques recherchés par la supplémentation en antioxydants sont la prévention d'effets délétères du stress oxydatif et l'accélération de la récupération musculaire. Le but est donc d'améliorer la performance physique. Cependant, il manque des preuves scientifiques qui documentent irréfutablement cet effet et il arrive que des athlètes consomment des antioxydants sur la base de recommandations peu adéquates, sans connaître l'impact de ces produits dans leurs circonstances propres. Il semblerait que la prise d'antioxydants pourrait même avoir un effet néfaste sur la santé et la performance (3). Une supplémentation retarderait le processus bénéfique d'adaptation à l'entraînement, en partie déclenché par la présence de radicaux libres. De plus, des études ont démontré qu'une prise élevée et à long terme de vitamine E mortalité (4). Dès lors, la question de connaître l'efficacité et les limites de cette supplémentation est pertinente.

2.3. Qualité des études

Les sportifs utilisent les antioxydants dans le but d'améliorer la récupération et leurs performances. Des études ont essayé de justifier ces pratiques mais certains critères assurant leur qualité ne sont pas toujours respectés, ce qui laisse la place à de nombreux biais. Les méthodes ne sont souvent pas justifiées notamment concernant la taille des échantillons, la manière de récolter et d'analyser les données. Il peut manquer un groupe contrôle ou placebo, une randomisation, une randomisation en double-aveugle ou encore une analyse selon l'intention de traiter (3).

L'analyse globale de l'effet des antioxydants sur la performance est également rendue difficile par le fait que, d'une étude à l'autre, la population étudiée peut être très différente, ou composée de petits groupes dont le niveau sportif est hétérogène (4).

L'effet des antioxydants est aussi difficile à évaluer en raison de l'hétérogénéité des interventions. De nombreux antioxydants sont testés, souvent la vitamine E, C et Coenzyme Q₁₀. Parfois, elles sont même associées. De plus, les doses ne sont pas toujours identiques et la durée de la supplémentation varie de quelques jours à quelques mois. Le moment de la supplémentation diffère aussi d'une étude à l'autre, les antioxydants peuvent être pris avant ou après l'exercice physique. Cette grande variabilité rend la comparaison des études difficile (3).

Une différence entre les groupes d'intervention et de contrôle sera davantage présente si l'échantillon n'a pas été randomisé (type cross-over) ou par le fait du hasard, par exemple si le nombre de participant est trop faible. L'intervention ne sera donc pas la cause des différences observées et un lien de cause à effet de la supplémentation en antioxydants ne sera donc pas forcément mesurable (3).

2.3.1. Méthodes de mesures des résultats

Les études testent généralement la performance des athlètes grâce à des exercices physiques (course, vélo, etc.) (3–6).

D'autres paramètres peuvent aussi être testés :

- La VO₂ max (4,5)

La mesure de la VO₂ max comprend une grande marge d'erreur. C'est pourquoi, évaluée seule, elle ne suffit pas à établir une mesure de la performance fiable (6).

- Les marqueurs du stress oxydatif (4)

Utiliser une méthode de mesure directe de radicaux libres est trop incertaine du fait de leur réactivité et de leur demi-vie relativement courte. C'est pourquoi la plupart des études utilisent un biomarqueur indirect pour mesurer le stress oxydatif (3,7). La mesure d'un seul biomarqueur indirect représente difficilement le stress oxydatif et elle devrait être réalisée sur plusieurs marqueurs. En pratique, les types d'analyses, les échantillons testés et le moment où ils sont prélevés ne sont pas les mêmes et cela va jouer un rôle important sur les résultats (3).

De plus, au moment du test, il est difficile de savoir si le système endogène du sportif est dépassé par une production importante de radicaux libres, surtout lorsqu'il s'agit d'athlètes entraînés (bénéfices de l'adaptation à l'entraînement). Les études manquent souvent d'informations sur l'état du système redox des patients (3). Le stress oxydatif est un phénomène complexe qui nécessite de prendre en compte plusieurs paramètres : les effets potentiellement bénéfiques des radicaux libres sur la récupération musculaire, l'adaptation à l'entraînement du sportif et la difficulté de la mesure des biomarqueurs. En somme, une méthode d'évaluation basée sur des marqueurs biologiques du stress oxydatif, ayant pour but de mesurer l'impact d'une supplémentation en antioxydants sur la performance physique, est donc peu fiable (3).

- Les dommages musculaires liés à l'exercice physique (4).

Plusieurs méthodes existent pour évaluer les dommages musculaires liés à l'exercice physique. L'évaluation de la perte de force semble être la plus efficace puisqu'elle est précise, fiable et qu'elle persiste jusqu'à la récupération du muscle. Néanmoins, il y a une faible corrélation entre la mesure de la douleur et des dommages musculaires (DOMS, Delayed Onset Muscle Soreness) bien que cette mesure soit largement utilisée dans les études (4). Les radicaux libres sont produits suite à une activité physique soutenue, mais leur responsabilité dans le déclenchement de DOMS reste un sujet controversé dans la littérature (7).

2.4. Éléments de la question de recherche

Les sportifs demandent des conseils nutritionnels dans le but d'améliorer leur performance physique. C'est pourquoi, nous voulons privilégier cet outcome plutôt que s'attacher à montrer des effets sur des marqueurs intermédiaires. D'autant plus que l'hétérogénéité et la qualité des études sont parfois douteuses et ne permettent pas de se faire une idée précise de l'impact d'une supplémentation sur la performance.

Dans le cadre de ce travail, nous étudierons en priorité les essais contrôlés randomisés, y compris en cross-over. Une analyse méticuleuse des méthodes sera réalisée afin de conserver les études ne comprenant qu'un minimum de biais.

Population : Notre travail va se focaliser sur les sports d'endurance uniquement. Dans un premier temps, nous souhaitons diriger la recherche vers des athlètes amateurs et non élites, ceci afin d'émettre des pratiques nutritionnelles pour la population générale. En pratique, un sportif amateur peut faire de l'exercice à un niveau relativement faible tout comme il peut s'entraîner autant qu'un professionnel. Il est donc incohérent d'exclure les sportifs d'élite. Inclure des études réalisées avec des athlètes d'élite et amateurs diminue le risque d'exclure des études de bonne qualité. Probablement, nous nous retrouverons avec des études effectuées sur des sportifs d'élite. Il serait intéressant donc de pouvoir extrapoler les résultats sur la population ayant différents niveaux d'entraînement. Dès lors, nous incluerons des études comprenant des sportifs d'élite et amateurs.

Intervention : Sur la base des principales revues traitant du thème (3–6), nous avons mis en évidence les antioxydants les plus fréquemment testés dans les études, et avons listé ceux que nous voulons inclure prioritairement dans notre analyse et qui nous a permis de construire notre équation de recherche (voir ci-dessous). Toutefois, nous n'allons pas restreindre les études sur le type d'antioxydant utilisé, ni la durée ou le moment d'administration. Seul un manque d'informations sur la manière de supplémenter est un critère d'exclusion à ce stade du travail.

Outcome : La manière d'évaluer la performance sportive doit être effectuée par un test physique de bonne fiabilité (y compris des tests de force). L'analyse de biomarqueurs pour mesurer le stress oxydatif ne donnent pas de résultats directs sur la performance et leur analyse et interprétation sortent de notre champ de compétences ; ils seront donc considérés comme outcomes secondaires, tout comme la VO₂ max et les DOMS, qui ne sont pas très précis.

3. Question de recherche

Notre question de recherche est basée sur trois concepts. Les éléments de la question PICO sont les suivants :

Population : athlètes pratiquant une activité physique d'endurance ;

Intervention : supplémentation en antioxydants ;

Comparaison : pas de supplémentation ;

Outcome : impact sur la performance physique.

Nous avons défini les mots-clés qui seront utilisés dans la base de données PubMed. Ils seront adaptés pour les moteurs de recherche Cihnal et Embase.

Pour le concept "athlètes pratiquant une activité physique d'endurance", les mots-clés sont :

- athletes [MeSH Terms]
- physical endurance [MeSH Terms]
- exercise [MeSH Terms]
- sports [MeSH Terms]
- elite [Title/Abstract]
- amateur [Title/Abstract]

Les termes "élite" et "amateur" sont utilisés avec la sélection Title/Abstract, ils ne sont pas définis en MeSH Terms.

Pour le concept "supplémentation en antioxydants", nous avons listé les antioxydants les plus fréquemment étudiés en raison de leur pertinence et leur rôle sur la performance physique :

- acetylcysteine [MeSH Terms]
- carotenoids [MeSH Terms]
- ubiquinone [MeSH Terms]
- plant extracts [MeSH Terms]
- flavonoids [MeSH Terms]
- ascorbic acid [MeSH Terms]

- vitamin e [MeSH Terms]
- vitamin c [MeSH Terms]
- antioxydants [MeSH Terms]

Pour le concept "impact sur la performance physique", les mots-clés ont été définis sur la base de l'évaluation de la performance au travers de tests physiques et de la récupération fonctionnelle. Autrement dit sur la capacité de travail musculaire, y compris la capacité de force. Ils ont également été sélectionnés à la suite de lectures d'articles sur notre thème (3–6).

- recovery of function [MeSH Terms]
- muscle weakness [MeSH Terms]
- muscle contraction [MeSH Terms]
- muscle fatigue [MeSH Terms]
- hand strength [MeSH Terms]
- exercise test [MeSH Terms]
- athletic performance [MeSH Terms]

Seul le test "hand strength" a été sélectionné, car nous n'avons pas trouvé d'autres termes qui définissent les tests de force. Pour ne pas les exclure de nos recherches, nous avons décidé d'inclure des MeSH Terms qui caractérisent l'état de la fonction musculaire (recovery of function, muscle weakness, muscle contraction, muscle fatigue).

Voici l'équation PubMed selon les termes proposés ci-dessus :

(((((athletes[MeSH Terms]) OR exercise[MeSH Terms]) OR sports[MeSH Terms]) OR elite[Title/Abstract]) OR amateur[Title/Abstract])) AND (((((((acetylcysteine[MeSH Terms]) OR carotenoids[MeSH Terms]) OR ubiquinone[MeSH Terms]) OR plant extracts[MeSH Terms]) OR flavonoids[MeSH Terms]) OR ascorbic acid[MeSH Terms]) OR vitamin e[MeSH Terms]) OR vitamin c[MeSH Terms]) OR antioxydants[MeSH Terms])) AND ((((((athletic performance[MeSH Terms]) OR exercise test[MeSH Terms]) OR hand strength[MeSH Terms]) OR muscle contraction[MeSH Terms]) OR muscle weakness[MeSH Terms]) OR recovery of function[MeSH Terms]) OR muscle fatigue[MeSH Terms])

Nombre de résultats : 994 articles

Nombre de résultats suite à l'application du filtre "Clinical Trial" : 339 articles

4. Méthodes

4.1. Introduction

Nous réaliserons notre travail de Bachelor entre le 17 février 2020, début du semestre 6, au 31 juillet 2020. Le travail a toutefois déjà débuté le 29 octobre 2019 par les lectures préliminaires et l'élaboration du protocole. La soutenance aura lieu durant l'automne 2020. Notre travail est supervisé par notre directrice, Mme Maaike Kruseman, Professeure associée, à la filière Nutrition et diététique, Heds, Genève.

4.2. Design

Nous souhaitons porter notre attention sur des études scientifiques déjà publiées qui traitent du sujet et en faire une synthèse. Une revue de littérature (quasi)-systématique sera effectuée en regroupant les articles en lien avec notre thème, selon les éléments de notre question de recherche et les critères d'inclusion et d'exclusion définis. La revue de littérature a comme base la notion de révisions ou d'examen d'éléments déjà étudiés. Finalement, elle permet de dégager la tendance actuelle sur le sujet et de faire émerger l'évolution des connaissances (8).

4.3. Revue de littérature quasi-systématique

4.3.1. Question de recherche - rappel

Population : athlètes et activité physique d'endurance ;

Intervention : supplémentation en antioxydants ;

Comparaison : pas de supplémentation ;

Outcome : impact sur la performance physique.

4.3.2. Critères d'inclusion et d'exclusion

	Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
Types d'études	<ul style="list-style-type: none">• Essai contrôlé randomisé• Essai contrôlé randomisé en cross-over	<ul style="list-style-type: none">• Tous les autres designs : études transversales, cas-témoin, avant-après sans groupe de comparaison, etc.
Types de population	<ul style="list-style-type: none">• Humains• Activité physique d'endurance• Population en santé « amateur » et « élite »	<ul style="list-style-type: none">• Sports de force• Animaux
Types d'intervention	<ul style="list-style-type: none">• Supplémentation en antioxydants	<ul style="list-style-type: none">• Alimentation riche en antioxydants
Types de résultats	<ul style="list-style-type: none">• Test de performance physique d'endurance• Test de force pour évaluer la récupération fonctionnelle (=musculaire)	<ul style="list-style-type: none">• Si les études comprennent seulement d'autres outcomes (ex. : analyse de biomarqueurs du stress oxydatif, VO2 max, test d'évaluation de la douleur, etc.)

4.3.3. Stratégie pour identifier les études

Nos recherches s'effectueront sur les bases de données Pubmed, Cinhal et Embase. Les articles sélectionnés seront en français ou en anglais pour une question de compréhension.

4.3.4. Sélection des études

La sélection des articles se réalisera en trois étapes. Le premier et le deuxième tri seront effectués sur la base du titre puis de l'abstract de l'article. Pour faire ces deux tâches, nous allons nous répartir la totalité des articles découlant de notre question de recherche des trois bases de données. Les articles ayant passé cette première sélection seront lus conjointement plus attentivement afin de garder ceux qui sont conformes à nos critères d'inclusion et d'exclusion. Une fois sélectionnés définitivement, nous nous partagerons la lecture approfondie : un bref résumé sera effectué pour chaque article. Un échange sur nos lectures respectives sera réalisé toutes les deux semaines. Nous répertorierons les articles dans un fichier excel (avec le numéro attribué à l'article, le titre, le nom du premier auteur, la date de parution, l'état de lecture dans lequel il se trouve). Ils seront aussi répertoriés dans le logiciel Zotero. Durant toute la durée du travail, nous mettrons en commun nos résultats et les comparerons. Les doutes seront discutés en commun et, si besoin, avec notre directrice du travail de Bachelor.

4.3.5. Recueil des données

Les données seront recueillies selon les variables définies à l'avance sur la base de nos différents concepts. Pour ce faire, nous utiliserons la grille d'analyse descriptive (annexe I). Il se peut que les variables et la grille soient adaptées à la suite des premières lectures. Les variables observées, pour le moment, seront les suivantes :

Variables observées		
Concept 1 : athlètes et activité physique d'endurance	Concept 2 : supplémentation en antioxydants	Concept 3 : impact de la performance physique
Type de sportif	Type d'antioxydants	Test d'endurance
Type d'activité physique d'endurance	Fréquence de la supplémentation	Test de force
Volume de l'entraînement	Dose de la supplémentation	
Intensité de l'entraînement	Moment de la supplémentation	
Statut de l'entraînement		

Pour ce qui est de l'évaluation de la qualité, nous nous baserons sur la grille d'analyse de qualité traduite à partir de la grille de l'Academy of Nutrition and Dietetics (annexe II).

4.3.6. Analyse des données

Afin d'avoir un fichier synthèse, nous utiliserons un tableau excel sur lequel les variables observées des trois concepts seront rassemblées. Ainsi nous pourrons comparer les éléments et faire ressortir les résultats sur la base des deux grilles utilisées. Les variables des trois concepts seront définies suite à la lecture des articles et des décisions prises au cours de notre travail. Elles seront adaptées comme mentionné sous le point 4.3.5.

4.3.7. Tableau de Gantt

Un tableau de Gantt, pour la période d'octobre 2019 à septembre 2020, a été réalisé afin d'avoir un calendrier clair sur lequel nous reposerons durant la durée du travail (annexe III). Il sera mis à jour régulièrement.

5. Considérations éthiques

Etant donné que notre intervention est basée sur la supplémentation en antioxydants, nous devons être attentives aux financements des études sélectionnées et s'assurer que les auteurs n'aient pas de conflit d'intérêts.

Notre travail consiste à une revue de littérature. Les bénéfices et les risques des sujets, le consentement éclairé, la confidentialité et l'anonymat ainsi que la gestion des données ne s'appliquent pas pour nous. Nous veillerons à ce que ces aspects soient mentionnés dans les études retenues.

6. Budget et ressources

A ce stade, les coûts liés à notre travail peuvent seulement être estimés. Notre budget sera composé des frais liés à l'acquisition des différents articles et de leur impression. Nous avons droit à l'achat d'environ vingt articles par le biais de l'école. L'achat doit, cependant, être validé par la directrice. Admettons que nous lisons et évaluons vingt articles, à raison de huit pages recto/verso chacun, dix centimes par copie, imprimer à double, le montant s'élèvera à Fr. 32.00. Le budget englobera également toutes les dépenses des impressions provisoires et finales du travail, y compris le poster, pour les relectures et le rendu. Actuellement, il est impossible de donner un nombre de pages et d'exemplaires précis. Nous retenons un montant d'environ Fr. 150.00 pour cette tâche.

Nous pouvons compter sur des ressources scientifiques lesquelles sont disponibles sur les différentes bases de données de recherches et les documents de la bibliothèque de l'école. En lien avec notre thématique, nous pouvons nous appuyer sur les cours dispensés durant ce semestre. Pour finir, nous ne pourrions pas mener à bien ce travail sans l'aide du bibliothécaire de l'école, notre directrice et nos différents enseignants.

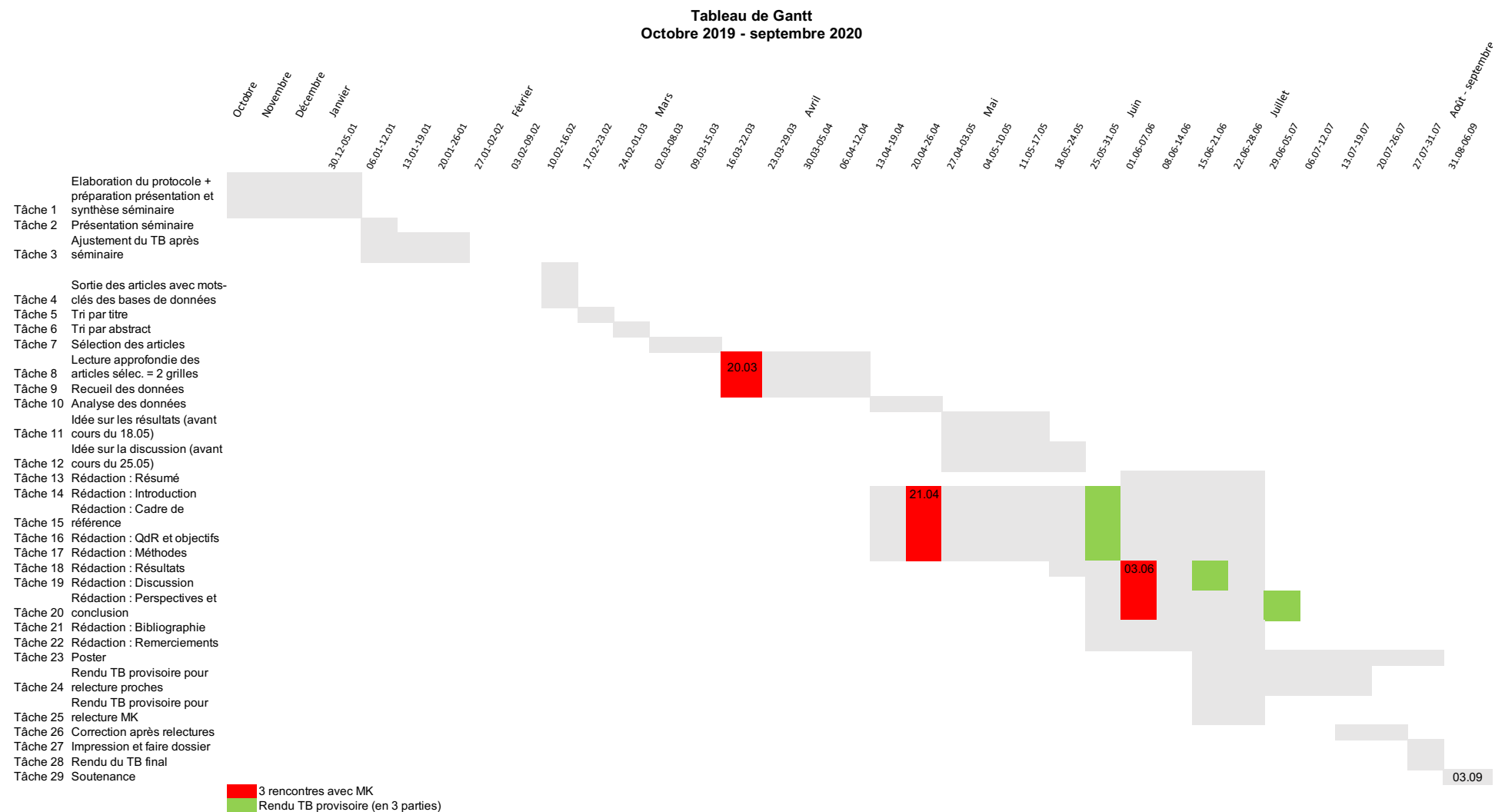
7. Bibliographie

1. Gremion G. Nutrition et sports : de la théorie à la pratique. Rev Med Suisse [En ligne]. 2011 [cité 4 décembre 2019];7(279):207-8. Disponible sur: <https://www.revmed.ch/RMS/2011/RMS-279/Nutrition-et-sports-de-la-theorie-a-la-pratique>
2. Maughan JR, Depiesse F, Geyer H RJ. The use of dietary supplements by athletes. J Sports Sci. 2007;25 Suppl 1:S103-113.
3. Peternelj TT, Coombes JS, Coombes JS. Antioxidant Supplementation during Exercise Training: Beneficial or Detrimental? Sports Med [En ligne]. 2011 [cité 7 novembre 2019];41(12):1043-69. Disponible sur: <http://link.springer.com/10.2165/11594400-000000000-00000>
4. McGinley C, Shafat A, Donnelly AE, Shafat A, Donnelly AE. Does Antioxidant Vitamin Supplementation Protect against Muscle Damage? Sports Med [En ligne]. 2009 [cité 7 novembre 2019];39(12):1011-32. Disponible sur: <http://link.springer.com/10.2165/11317890-000000000-00000>
5. Rothschild JA, Bishop DJ. Effects of Dietary Supplements on Adaptations to Endurance Training. Sports Med [En ligne]. 2019 [cité 11 décembre 2019]. Disponible sur: <http://link.springer.com/10.1007/s40279-019-01185-8>
6. Braakhuis AJ, Hopkins WG, Hopkins WG. Impact of Dietary Antioxidants on Sport Performance: A Review. Sports Med [En ligne]. 2015 [cité 7 novembre 2019];45(7):939-55. Disponible sur: <http://link.springer.com/10.1007/s40279-015-0323-x>
7. Close GL, Ashton T, McArdle A, MacLaren DPM, Anne, McArdle A, MacLaren DPM. The emerging role of free radicals in delayed onset muscle soreness and contraction-induced muscle injury. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology [En ligne]. 2005 [cité 2 décembre 2019];142(3):257-66. Disponible sur: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1095643305002710>
8. Cook DJ, Mulrow CD, Haynes RB, Mulrow CD, Haynes RB. Systematic reviews: synthesis of best evidence for clinical decisions. Ann Intern Med. 1997;126(5):376-80.

8. Annexes

Annexe I :	grille pour l'analyse descriptive
Annexe II :	grille pour l'analyse de la qualité
Annexe III :	tableau de Gantt

Annexe II : Tableau de Gantt



Annexe III : Grille d'analyse descriptive

h e d s

Haute école de santé
Genève

Filière Nutrition et diététique

Lecture Critique : Grille de lecture descriptive

Quelle est la question posée par les auteurs ?	<ol style="list-style-type: none">1. Quelle est la question de recherche ?<ol style="list-style-type: none">a. Populationb. Intervention / Expositionc. Comparaisond. Outcome<p>Est-ce que la question est suffisamment argumentée et justifiée dans l'introduction ? (Expliquez brièvement)</p>2. Une hypothèse est-elle formulée de manière explicite ? Si oui, quelle est-elle ?
Quel type d' étude a été effectué ?	<ol style="list-style-type: none">3. La récolte de données était-elle longitudinale ou transversale ?4. La récolte de données était-elle rétrospective ou prospective ?5. Y a-t-il eu une comparaison entre groupes ? Si oui, quels étaient les groupes ?6. Y a-t-il eu une (ou des) intervention(s) ou une exposition ?7. Quel était le devis d'étude ? (cohorte, cas-témoins, enquête, étude de cas, essai contrôlé randomisé ?)
Quelles sont les méthodes utilisées ?	<ol style="list-style-type: none">8. De quelle population les sujets étaient-ils issus ?9. Quels étaient les principaux critères d'inclusion et d'exclusion ?10. Comment les sujets ont-ils été sélectionnés ?<p>Y a-t-il un risque de biais de sélection ?</p>11. Quelles étaient les variables étudiées ?<p>Les outils de mesure étaient-ils valides et fiables ?</p>12. Quelles étaient les principales analyses statistiques effectuées ?

<p>Quels sont les résultats de l'étude ?</p>	<p>13. Quels sont les principaux résultats ?</p> <p>Que signifient-ils concrètement ?</p> <p>Permettent-ils de répondre à la question de recherche ?</p> <p>Les tableaux et graphiques sont-ils pertinents, clairement légendés ?</p> <p>Selon vous, manque-il des résultats pertinents ?</p>
<p>Puis-je appliquer ces résultats à ma pratique ?</p> <p>Analyse personnelle</p>	<p>14. Quels sont les éléments principaux de la discussion ?</p> <p>15. Les auteurs présentent-ils les limites et les biais ? Si oui, quels sont-ils ?</p> <p>16. Les auteurs citent-ils leurs sources (références) ?</p> <p>Les références citées sont-elles récentes ?</p> <p>Les auteurs citent-ils plusieurs de leurs propres travaux ?</p> <p>Certains aspects importants manquent-ils de références ?</p> <p>17. Quelle est la conclusion de l'étude ?</p> <p>Est-elle logique et découle-t-elle des résultats de l'étude ?</p> <p>Selon vous, les résultats sont-ils plausibles ? En lien avec ce que vous connaissez ?</p> <p>Que pensez-vous de cette étude ? Appliqueriez-vous les résultats ?</p>

Annexe IV : Grille d'analyse de la qualité

h e d s

Haute école de santé
Genève
Filière Nutrition et diététique

DOCUMENT INTERNE A NE PAS DIFFUSER

Analyse qualité d'articles de RECHERCHE¹

Résumé descriptif

Référence	
Devis d'étude	
Niveau de qualité	<input type="checkbox"/> + (Positif) <input type="checkbox"/> - (Négatif) <input type="checkbox"/> ⊖ (Neutre)
But de la recherche	
Critères d'inclusion	
Critères d'exclusion	
Description du protocole de l'étude	Recrutement : Design : Aveuglement (si applicable) : Intervention (si applicable) : Analyses statistiques :
Recueil de données	Moments de mesure : Variables dépendantes : Variables indépendantes : Autres variables en lien :
Description de l'échantillon étudié	N initial sujets: (.....Hommes ;Femmes) N final analysé : (Taux de retrait :) Age (moyenne ; groupes ; etc.): Origine : Autres caractéristiques démographiques : Données anthropométriques : Lieu de recrutement :

¹ Traduction libre de Worksheet template and Quality criteria checklist : Primary Research. Academy of Nutrition and Dietetics, Evidence Analysis Library®. <http://www.andean.org/evidence-analysis-manual> (accédé le 18 janvier 2017)

Résumé des résultats	Constatations principales : Constatations secondaires :
Conclusion des auteurs	
Commentaires	
Source de financement	

Analyse qualité

Symboles	Légende
+	Positif : Indique que l'article a abordé clairement les critères d'inclusion et d'exclusion, les biais, la généralisabilité, le recueil et l'analyse des données.
-	Négatif : Indique que les éléments ci-dessus n'ont pas été abordés de manière suffisante.
⊖	Neutre : Indique que l'article n'est ni particulièrement robuste ni particulièrement faible.

Checklist

Questions de pertinence	
1. En cas de résultat positif de l'intervention étudiée, est-ce que sa mise en application résulterait en une amélioration pour le groupe cible ? (Non applicable pour certaines études épidémiologiques).	O N PP NA
2. Est-ce que l'outcome ou le thème étudié (variable dépendante) est important du point de vue du groupe cible ?	O N PP NA
3. Est-ce que l'intervention ou la procédure (variable indépendante) ou le thème de l'étude est une préoccupation fréquente en pratique diététique ?	O N PP NA
4. Est-ce que l'intervention ou la procédure est réalisable/faisable ? (Non applicable pour certaines études épidémiologiques).	O N PP NA

Oui=O ; Non=N ; Peu de précisions=PP ; Ne s'applique pas=NA

Questions de validité	
1. Est-ce que la <u>question de recherche</u> a été clairement posée ?	O-N-PP-NA
1.1 Est-ce que l'intervention ou la procédure (variable indépendante) a été identifiée ?	O-N-PP-NA
1.2 Est-ce que les variables de résultat (outcome, variables dépendantes) ont été clairement indiquées ?	O-N-PP-NA
1.3 Est-ce que la population cible et le cadre de l'étude ont été spécifiés ?	O-N-PP-NA
2. Est-ce que la <u>sélection</u> des sujets de l'étude était exempte de biais ?	O-N-PP-NA
2.1 Est-ce que les critères d'inclusion et d'exclusion étaient spécifiés (facteurs de risque, stade de la maladie, critères de diagnostic, comorbidités, etc.) et avec suffisamment de détails, sans omettre ceux essentiels pour l'étude ?	O-N-PP-NA
2.2 Est-ce que les critères ont été appliqués de manière identique dans tous les groupes étudiés ?	O-N-PP-NA
2.3 Est-ce que les caractéristiques de santé, les caractéristiques sociodémographiques et les autres caractéristiques des sujets sont décrites ?	O-N-PP-NA
2.4 Est-ce que les sujets peuvent être considérés comme un échantillon représentatif de la population cible ?	O-N-PP-NA
3. Est-ce que les groupes étudiés étaient <u>comparables</u> ?	O-N-PP-NA
3.1 Est-ce que la méthode de répartition des sujets dans les groupes était décrite et non biaisée ? En cas d'essai contrôlé randomisé, est-ce que la méthode de randomisation était explicitée ?	O-N-PP-NA
3.2 Est-ce qu'au début de l'étude la distribution des caractéristiques (stade de la maladie, facteurs pronostiques ou sociodémographiques) était similaire dans les groupes de l'étude ?	O-N-PP-NA
3.3 Est-ce que les sujets du groupe contrôle étaient inclus en même temps que les autres sujets d'étude ? (Suivi en parallèle préféré au suivi rétrospectif)	O-N-PP-NA
3.4 S'il s'agit d'une étude de cohorte ou transversale, est-ce que les groupes étaient comparables en termes de facteurs de confusion et est-ce que les différences préexistantes étaient prises en compte lors des analyses statistiques ? (ajustement, p.ex.).	O-N-PP-NA
3.5 S'il s'agit d'une étude cas-témoin, est-ce que les facteurs de confusion potentiels étaient similaires chez les cas et les témoins ? (s'il s'agit d'une étude de cas ou si les sujets étaient leur propre contrôle [cross-over] ce critère n'est pas applicable ; idem dans certaines études transversales).	O-N-PP-NA
3.6 S'il s'agit d'une étude visant à évaluer un test diagnostique, est-ce qu'il y avait une comparaison indépendante faite en aveugle avec un <i>Gold standard</i> ?	O-N-PP-NA

<p>4. Est-ce que la gestion des <u>retraits</u> (sujets ayant arrêté l'étude volontairement ou non) a été décrite ?</p> <p>4.1 Est-ce que les méthodes de suivi des sujets ont été décrites et étaient-elles identiques pour tous les groupes ?</p> <p>4.2 Est-ce que le nombre de retraits et les motifs (abandons, perdus de vue, etc.) ou le taux de réponse (études transversales) étaient décrits pour chaque groupe ? (Le taux de suivi pour une étude robuste est de 80%).</p> <p>4.3 Est-ce que tous les sujets inclus dans l'échantillon de départ ont été pris en compte dans l'analyse?</p> <p>4.4 Est-ce que les raisons de retrait étaient similaires dans tous les groupes ?</p> <p>4.5 S'il s'agit d'une étude visant à évaluer un test diagnostique: est-ce que la décision d'effectuer le test de référence (gold standard) n'était pas influencée par les résultats du test étudié (nouveau test) ?</p>	<p>O-N-PP-NA</p> <p>O-N-PP-NA</p> <p>O-N-PP-NA</p> <p>O-N-PP-NA</p> <p>O-N-PP-NA</p> <p>O-N-PP-NA</p>
<p>5. Est-ce que des <u>méthodes en aveugle</u> ont-été utilisées pour empêcher les biais ?</p> <p>5.1 S'il s'agit d'une étude d'intervention, est-ce que les cliniciens et les investigateurs étaient aveugles concernant l'attribution des groupes ?</p> <p>5.2 Est-ce que les personnes chargées de recueillir les données étaient aveugles concernant l'évaluation des résultats? (<i>Si le résultat était évalué par un test objectif, p.ex. une valeur biologique, ce critère est d'emblée acquis</i>).</p> <p>5.3 S'il s'agit d'une étude de cohorte ou d'une étude transversale, est-ce que les mesures de résultat et de facteurs de risque des sujets ont été effectuées à l'aveugle ?</p> <p>5.4 S'il s'agit d'une étude cas-témoins, est-ce que la définition d'un cas était explicite et son attribution au groupe « cas » non-influencée par le fait qu'il ait été exposé ou non au facteur étudié ?</p> <p>5.5 S'il s'agit d'une étude visant à évaluer un test diagnostique, est-ce que les résultats du test étaient traités en aveugle, relativement à l'histoire du patient et aux résultats d'autres tests ?</p>	<p>O-N-PP-NA</p> <p>O-N-PP-NA</p> <p>O-N-PP-NA</p> <p>O-N-PP-NA</p> <p>O-N-PP-NA</p> <p>O-N-PP-NA</p>
<p>6. Est-ce que <u>l'intervention</u>, les plans de traitement, les facteurs d'exposition ou la procédure, ainsi que les comparaisons ont été décrites en détail?</p> <p>6.1 S'il s'agit d'un essai randomisé contrôlé ou d'une autre étude d'intervention, est-ce que les protocoles étaient décrits pour chacun des plans de traitement étudiés ?</p> <p>6.2 S'il s'agit d'une étude d'observation, est-ce que les interventions, le cadre de l'étude et les professionnels impliqués étaient décrits?</p> <p>6.3 Est-ce que l'intensité et la durée de l'intervention ou du facteur d'exposition étaient suffisantes pour produire un effet significatif?</p> <p>6.4 Est-ce que l'ampleur de l'exposition et, le cas échéant, la compliance du sujet, était mesurée?</p> <p>6.5 Est-ce que les co-interventions (traitements auxiliaires, autres thérapies, etc.)</p>	<p>O-N-PP-NA</p> <p>O-N-PP-NA</p> <p>O-N-PP-NA</p> <p>O-N-PP-NA</p> <p>O-N-PP-NA</p> <p>O-N-PP-NA</p>

étaient décrites?	
6.6 Est-ce que les traitements supplémentaires ou non planifiés étaient décrits?	O-N-PP-NA
6.7 Est-ce que les données relatives aux questions, 6.4, 6.5, et 6.6 étaient évaluées de la même manière pour tous les groupes ?	O-N-PP-NA
6.8 S'il s'agit d'une étude visant à évaluer un test diagnostique, est-ce que la manière d'effectuer les tests et leur reproduction étaient suffisamment décrits ?	O-N-PP-NA
7. Est-ce que les <u>variables de résultat</u> étaient clairement définies et les <u>mesures valides et fiables</u>?	O-N-PP-NA
7.1 Est-ce que les critères de résultats (endpoints) primaires et secondaires étaient décrits et pertinents pour répondre à la question ?	O-N-PP-NA
7.2 Est-ce que les mesures nutritionnelles étaient appropriées pour étudier la question et les résultats d'intérêt ?	O-N-PP-NA
7.3 Est-ce que la période de suivi était suffisamment longue pour que les résultats puissent se produire ?	O-N-PP-NA
7.4 Est-ce que les observations et les mesures étaient basées sur des instruments, tests ou procédures de recueil de données standardisés, valides et fiables?	O-N-PP-NA
7.5 Est-ce que la mesure de l'effet était d'un niveau de précision approprié ?	O-N-PP-NA
7.6 Est-ce que d'autres facteurs pouvant influencer les résultats étaient pris en compte?	O-N-PP-NA
7.7 Est-ce que les mesures étaient conduites de façon systématique dans chacun des groupes?	O-N-PP-NA
8. Est-ce que les <u>analyses statistiques</u> étaient appropriées pour le design d'étude et pour le type de variables de résultat?	O-N-PP-NA
8.1 Est-ce que les analyses statistiques étaient suffisamment décrites et les résultats rapportés de manière adéquate ?	O-N-PP-NA
8.2 Est-ce que les tests statistiques utilisés étaient corrects et est-ce que les hypothèses des tests étaient respectées ?	O-N-PP-NA
8.3 Est-ce que les résultats statistiques étaient rapportés avec les niveaux de signification ou les intervalles de confiance ?	O-N-PP-NA
8.4 Est-ce que l'analyse des résultats était effectuée pour l'ensemble des sujets en «intention de traiter» ? (le cas échéant, y avait-il une analyse des résultats pour les personnes les plus exposées ou une analyse dose-effet) ?	O-N-PP-NA
8.5 Est-ce que des ajustements pour les facteurs de confusion potentiels étaient faits de manière adéquate ? (analyses multivariées p.ex.)	O-N-PP-NA
8.6 Est-ce que la signification clinique ainsi que la signification statistique étaient mentionnées ?	O-N-PP-NA
8.7 Si les résultats étaient négatifs, est-ce qu'un calcul de puissance permettait d'identifier une éventuelle erreur de type II ?	O-N-PP-NA

9. Est-ce que <u>les conclusions étaient étayées par les résultats</u> et tenaient compte des biais et des limites ?	O-N-PP-NA
9.1 Est-ce qu'il y a une discussion des résultats ?	O-N-PP-NA
9.2 Est-ce que les biais et les limites de l'étude sont identifiés et discutés ?	O-N-PP-NA
10. Est-ce qu'un biais dû au <u>financement ou au sponsoring</u> de l'étude est peu probable ?	O-N-PP-NA
10.1 Est-ce que les sources de financement et les affiliations des investigateurs sont mentionnées ?	O-N-PP-NA
10.2 Est-ce qu'il n'y avait pas de conflit d'intérêt apparent ?	O-N-PP-NA

Cotation

POSITIF (+)

Si la majorité des réponses aux questions de validité ci-dessus sont « Oui », y compris les critères 2, 3, 6 et 7 ainsi qu'au moins une réponse « Oui » à une autre question, l'article devrait être désigné par le symbole plus (+).

NEGATIF (-)

Si la plupart ($\geq 6/10$) des réponses aux questions de validité ci-dessus sont « Non », l'article devrait être désigné par le symbole moins (-).

NEUTRE (⊙)

Si les réponses aux questions de validité 2, 3, 6 et 7 n'indiquent pas que l'étude est particulièrement robuste, l'article devrait être désigné par le symbole neutre (⊙).