

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

EFFETS D'UNE SUPPLÉMENTATION DE LA POUDRE DES FEUILLES DU
MORINGA OLEIFERA SUR LA PERFORMANCE SPORTIVE ET LES
RÉPONSES CARDIORESPIRATOIRES DURANT UNE ÉPREUVE
D'ENDURANCE

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAITRISE EN SCIENCE DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

PAR
DONA GERAUD ENOCK GBEDINHESI

AVRIL 2024

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.12-2023). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos sincères remerciements :

- au professeur Alain Steve Comtois (PhD), pour sa disponibilité, ses conseils et la qualité du suivi. Qu'il reçoive ici l'expression de notre profonde gratitude ;
- au professeur Gawiyou Danialou (PhD), pour l'accueil, la générosité, l'encouragement et le soutien dont il a toujours fait preuve durant le suivi de ce travail. Nous en avons été énormément fascinés. Il est pour nous un modèle. Qu'il soit rassuré ici de notre reconnaissance et de notre estime ;
- au professeur David H. St-pierre (PhD), qui, tel un ange gardien, a rendu possible la réalisation de notre rêve d'enfance. Son partage de connaissances, son implication et sa contribution dans le développement de ce projet nous ont été d'une grande aide ;
- à madame Clémence COMBETO, pour sa générosité, sa disponibilité, ses conseils et son assistance dès notre arrivée sur le sol canadien ;
- à nos parents, nos frères, nos sœurs et surtout notre épouse pour leur confiance et les efforts consentis durant notre formation malgré la distance. Qu'ils reçoivent ce mémoire comme preuve de notre profonde gratitude ;
- à tout le personnel du département des sciences de l'activité physique de l'UQÀM pour leur précieux encadrement ;
- à Morgane Mary-Pouliot et Lise Raymond pour les sympathiques moments que nous avons passés ensemble. La route est longue, mais l'arrivée sera belle ;
- à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.
- à Oscar Ortiz pour sa sympathie et son aide précieuse lorsque des petits problèmes techniques étaient rencontrés au cours des tests.

AVANT-PROPOS

Ce mémoire a pour objet de présenter les résultats des travaux effectués dans le cadre de la maîtrise en science de l'activité physique. Avant d'aller plus loin, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué à sa réalisation.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES.....	x
LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS	xii
RÉSUMÉ	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I PROBLÉMATIQUE.....	3
1.1 Mise en contexte	3
1.2 Importance du présent projet de recherche	4
1.3 Objectif de recherche	6
1.4 Énoncé du problème	6
1.5 Hypothèses.....	6
1.6 Connaissance spécifique	7

CHAPITRE II REVUE DE LITTÉRATURE	9
2.1 Clarification conceptuelle	9
2.1.1 Plante médicinale	9
2.1.2 Phytothérapie	10
2.1.3 Infusion	11
2.1.4 Performance	11
2.2 Généralités sur le <i>Moringa oleifera</i>	12
2.2.1 Aspect botanique.....	12
2.2.2 Répartition géographique.....	13
2.2.3 Usages	14
2.3 Composantes naturelles des feuilles de <i>Moringa oleifera</i>	18
2.4 Feuilles de <i>Moringa oleifera</i> et activité physique	25
2.5 Course contre la montre sur vélo stationnaire	26
CHAPITRE III MÉTHODOLOGIE	27
3.1 Phase préparatoire.....	27
3.1.1 Obtention de l'extrait	27
3.1.2 Population d'étude	27
3.1.3 Critère de sélection des participants	28
3.1.4 Aspects déontologiques et consentement	28
3.2 Phase expérimentale	29
3.2.1 Tests et mesures	29
3.2.2 Conception expérimentale	31
3.3 Analyses statistiques	33

CHAPITRE IV RÉSULTATS	274
CHAPITRE V DISCUSSION	46
CONCLUSION.....	51
ANNEXE FORMULAIRE DE CONSENTEMENT	52
BIBLIOGRAPHIE.....	61

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
2.1 Description des différentes parties de <i>Moringa Oleifera</i>	13
2.2 Utilisations des différentes parties de <i>Moringa Oleifera</i>	14
2.3 Valeur nutritionnelle de la feuille de <i>Moringa Oleifera</i> comparée à celles d'autres aliments.....	19
3.1 Représentation schématique de l'essai	32
4.1 Fréquence cardiaque (bpm) avant et après consommation de l'infusion de la feuille de <i>Moringa Oleifera</i>	37
4.2 Perception de l'effort avant et après consommation de l'infusion de la feuille de <i>Moringa Oleifera</i>	38
4.3 Cadence de pédalage moyenne (RPM) avant et après consommation de l'infusion de la feuille de <i>Moringa Oleifera</i>	39
4.4 Lactate sanguin (mmol/L) avant et après consommation de l'infusion de la feuille de <i>Moringa Oleifera</i>	40

4.5	Travail Total (kJ) avant et après consommation de l'infusion de la feuille de <i>Moringa Oleifera</i>	40
4.6	Temps de parcours (min) avant et après consommation de l'infusion de la feuille de <i>Moringa Oleifera</i>	41
4.7	Cadence de pédalage rapportée au temps de parcours relatif avant et après consommation de l'infusion de la feuille de <i>Moringa Oleifera</i>	42
4.8	Saturation musculaire en oxygène (SmO ₂) rapportée au pourcentage du temps de parcours relatif avant et après consommation de l'infusion de la feuille de <i>Moringa Oleifera</i>	43
4.9	Taux d'hémoglobine (THb) rapporté au pourcentage du temps de parcours relatif avant et après consommation de l'infusion de la feuille de <i>Moringa Oleifera</i>	44
5.1	Récapitulative de l'étude et des résultats principaux.....	46

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
2.1 Composition chimique de la poudre des feuilles de <i>Moringa Oleifera</i> (pour 100 grammes)	20
2.2 Composition vitaminique de la poudre des feuilles de <i>Moringa Oleifera</i> (pour 100 grammes)	21
2.3 Composition en minéraux de la poudre des feuilles de <i>Moringa Oleifera</i> (pour 100 grammes)	22
2.3 Composition en acide aminés de la poudre des feuilles de <i>Moringa Oleifera</i> (pour 100 grammes)	23
4.1 Données anthropométriques de la population étudiée.....	34
4.2 Données obtenues à la suite du traitement statistique	35

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

O ₂	Oxygène
VO ₂ max	Volume d'Oxygène maximal
CCES	Centre canadien pour l'éthique dans le sport
GST	Glutathion S-transférase
SOD	Superoxyde dimustase
CAT	Catalase
MDA	Malondialdehyde
TSH	Thyréostimuline
PM	Pendiméthaline
PA	Pression Artérielle
IMC	Indice de Masse Corporelle
LDH	Lactates déshydrogénases
THb	Hémoglobine totale

SmO₂ Saturation musculaire en oxygène

bpm Battement par minute

RPM Répétition par minute

RPE Perception de l'effort

MO Moringa Oleifera

LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS

%	Pourcentage
m	Mètre
cm	Centimètre
mm	Millimètre
g	Gramme
mg	Milligramme
µg	Microgramme
ml	Millilitre
°	Degré
kg	Kilogramme
kcal	Kilocalorie
mmol/L	Millimole par Litre

min Minute

ml/min/kg Millilitre par minute par kilogramme

RÉSUMÉ

Le *Moringa Oleifera* (MO) est une plante tropicale dont les racines, les graines et l'écorce sont utilisées à la fois comme aliment et en médecine traditionnelle. Par conséquent, il a déjà été démontré que MO présentait des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et analgésiques. En revanche, les propriétés ergogènes du MO restent à étudier/confirmer. Notre étude visait à comparer le travail total et le temps nécessaire aux participants pour effectuer le travail demandé (contre la montre sur vélo de 20km), avant et après la prise d'une infusion de la feuille de MO. La performance réalisée par 34 participants (19 H, 15 F, Âge: 25.9±4.5 ans, Poids: 71.4±16.5 kg, Taille: 170.4±10.0 cm, VO₂max: 40.1±8.4 ml/kg/min) à la fin d'une course (vélo stationnaire) contre la montre de 20km a été enregistrée. Durant le test, la charge a été fixée à une puissance (114.1±42.8 Watts) correspondant au seuil ventilatoire 1+10% (SV1+10%) des participants. En second plan, la Fréquence cardiaque (FC) de repos, à l'effort et de récupération atteinte durant le test ; la perception de l'effort (RPE), le taux de lactate sanguin, la cadence de pédalage (RPM) et l'oxygénation musculaire ont également été mesurés. Le travail total (Δ 293.6 ± 75.3 vs 290.1 ± 77.4 KJ, p = 0.012, d=0.5) et le temps (Δ 50.0±22.3 vs 49.33±21.9 min, p = 0.021, d=0.4) ont été significativement différents. La FC (Δ 172.4 ± 22.5 vs 175.9 ± 23.1 bpm, p=0.002, d=-0.9) et le RPM (Δ 87.6 ± 18.5 vs 93.3 ± 15.8, p=0.008, d= -0.5) ont aussi été significativement différentes. L'étude réalisée a montré que l'infusion de la feuille de *Moringa Oleifera* améliore la performance en endurance.

Mots clés : *Moringa Oleifera*, endurance cardiorespiratoire, fréquence cardiaque, VO₂max, performance, perception de l'effort, lactate sanguin, oxygénation musculaire.

ABSTRACT

Moringa Oleifera (MO) is a tropical plant whose roots, seeds and bark are used both as food and in traditional medicine. MO has already been shown to exert antioxidant, anti-inflammatory and analgesic properties. On the other hand, the ergogenic properties of MO remain to be clarified. Our study aimed to compare the energy and the time necessary for the participants to carry out the required work (cycling 20km), before and after taking an infusion of the MO leaf. The performance achieved by 34 participants (19 M, 15 W, Age: 25.9 ± 4.5 years, Weight: 71.4 ± 16.5 kg, Height: 170.4 ± 10.0 cm, VO_{2max} : 40.1 ± 8.4 ml/kg/min) at the end of a 20km time trial cycling bout time trial was recorded. During the protocol, the load was set at a power of 114.1 ± 42.8 Watts (corresponding to the ventilatory threshold 1+10%: SV1+10% of the participants). At baseline, heart rate (HR; resting, effort and recovery) reached during the test; perceived exertion (RPE), blood lactate levels and muscle oxygenation were also measured. Total work ($\Delta 293.6 \pm 75.3$ vs 290.1 ± 77.4 KJ, $p=0.012$, $d=0.5$) and time ($\Delta 50.0 \pm 22.3$ vs 49.33 ± 21.9 min, $p=0.021$, $d=0.4$) were significantly different. HR ($\Delta 172.4 \pm 22.5$ vs 175.9 ± 23.1 bpm, $p=0.002$, $d=-0.9$) and RPM ($\Delta 87.6 \pm 18.5$ vs 93.3 ± 15.8 , $p=0.008$, $d= -0.5$) were also significantly different. The present results carried show *Moringa Oleifera* leaf infusions improved endurance performance.

Keywords: *Moringa Oleifera*, cardiorespiratory endurance, heart rate, VO_{2max} , performance, effort exertion, blood lactate, muscle oxygenation.

INTRODUCTION

L'association d'une alimentation adaptée et de l'entraînement physique a un effet positif sur la santé et la performance physique. Les connaissances scientifiques récentes ont permis une meilleure compréhension des différents mécanismes physiologiques de la performance. Elles ont, en particulier, mis en évidence le rôle des différents macro et micronutriments dans les processus de fourniture énergétique, de régulation du métabolisme et de la contraction musculaire [1].

Les différents travaux de recherche qui se sont intéressés au *Moringa Oleifera* (MO) ont suggéré l'effet potentiel que pourrait avoir cette plante dans l'alimentation du sportif. En effet, la poudre des feuilles de MO est un phytobiotique, bien connue pour son utilisation médicinale [2]. Elle contient des composés phytochimiques, tels que les alcaloïdes, les flavonoïdes qui lui procurent des propriétés immunomodulatrices et antimicrobiennes [3]. Le MO contient également une quantité importante d'antioxydants naturels (vitamine E et sélénium), de minéraux (calcium, phosphore et magnésium) et de composés phytochimiques tels que l'acide caféique [4], qui diminuent la sensation de fatigue et la perception d'effort lors d'une activité physique.

Les effets positifs de cette partie de la plante sur la performance sportive pourraient être dus à sa riche composition en calcium (connu pour son rôle sur les fonctions d'excitabilité neuromusculaire) [5], en potassium (important pour le contrôle de la contraction musculaire ainsi que dans la régulation de l'eau entre le milieu intracellulaire et extracellulaire) [6], en apports protéiques (effets sur l'entretien et l'augmentation de la masse musculaire) [7]. La présence des flavonoïdes dans la feuille de la plante pourrait aussi contribuer à l'amélioration de la performance sportive. Ils sont capables de moduler l'activité de certaines enzymes et de modifier le comportement de plusieurs systèmes cellulaires, suggérant qu'ils pourraient exercer une multitude d'activités biologiques, notamment des propriétés antioxydantes,

vasculoprotectrices, anti-hépatotoxiques, antiallergiques, anti-inflammatoires, antiulcéreuses et même antitumorales significatives [8]. Il a été rapporté que le MO a la capacité d'être une aide ergogénique, en améliorant le métabolisme énergétique dans le muscle squelettique adulte. Il augmente l'expression de marqueurs métaboliques clés, notamment ceux impliqués dans la glycolyse, la phosphorylation oxydative, la biogenèse mitochondriale et l'angiogenèse chez des rats [9]. Il a été également rapporté que l'extrait aqueux de feuilles de cette plante améliore la capacité de nage des rats en retardant l'accumulation de lactate sanguin et d'azote uréique du sang [10]. Le potentiel antifatique de cette plante peut s'exprimer par des mécanismes impliquant son activité antioxydante [10]. Ce potentiel pourrait être associé à l'augmentation de la concentration d'hémoglobine, des réserves de glycogène hépatique et musculaire. Sans oublier la réduction de l'accumulation tissulaire d'acide lactique par l'extrait de la feuille de cette plante [10]. Le *Fitnox^T* constitué à 50% de MO, a un effet antioxydant, vasodilatateur sur des hommes âgés de 18 à 55ans. Elle a aussi augmenté le taux de globules rouges et le niveau de dopamine (36%) passant de 225 µg/24h à 354 µg/24h dans le sang avant et après une période d'exercice chez ces personnes [11].

Le présent travail de recherche vise donc à documenter l'effet de la supplémentation en poudre de feuilles de MO sur l'endurance cardiorespiratoire à l'effort chez des sportifs.

CHAPITRE I

PROBLÉMATIQUE

Dans ce chapitre, nous allons présenter : le contexte dans lequel s'inscrit notre étude, l'importance de cette étude, l'objectif de celle-ci, l'énoncé du problème, nos hypothèses et enfin les connaissances spécifiques à notre sujet d'étude.

1.1 Mise en contexte

L'objectif majeur de la pratique sportive est de vaincre ses adversaires, ce qui implique la réalisation de meilleure performance lors des compétitions. Quelques millièmes de seconde peuvent faire la différence entre la victoire et l'échec dans une compétition sportive.

La performance physique pendant les événements sportifs de compétition est liée en forte proportion à l'état de santé et à la capacité des réponses physiologiques à relever les défis de la situation de compétition, en dehors de la technique, de la tactique et de l'habileté [12]. Dans les épreuves d'endurance à long terme, la phosphorylation oxydative joue un rôle dominant et ainsi la consommation maximale d'oxygène ($VO_2\text{max}$) ou la capacité aérobie devient l'un des principaux facteurs déterminants de la performance sportive. Le $VO_2\text{max}$ est limité à la seule capacité cardiorespiratoire des individus concernant l'absorption, le transport et l'utilisation d'oxygène. Dans tous les événements sportifs d'activité de longue durée (en continu ou non), le $VO_2\text{max}$ joue un rôle clé. L'apport maximal en oxygène peut être le paramètre le plus physiologiquement significatif et le plus couramment mesuré dans l'évaluation physiologique des athlètes bien entraînés [13]. Un autre élément important à la performance sportive et en lien avec le $VO_2\text{max}$ est le seuil ventilatoire (près du seuil

lactate, puissance critique) pouvant être modifié par la préparation physique et permettant à un athlète entraîné d'obtenir un seuil ventilatoire près de 80-90% du VO₂max [14]. Il est tout aussi important qu'un VO₂max élevé, car un seuil ventilatoire élevé relatif au VO₂max se traduit à une vitesse de vélo ou de course à pied plus élevée dans une zone limitant la fatigue musculaire [15]. Peut-être que la feuille de MO agit sur le seuil ventilatoire.

Plusieurs études ont montré l'efficacité des compléments alimentaires pour améliorer l'endurance à l'effort chez des sportifs, grâce à leurs capacités antioxydante et anti-inflammatoire [16]. La réduction de la perception de l'épuisement et la douleur musculaire d'exercice ont été observées chez des athlètes ayant suivi un traitement à base de complément alimentaire [17]. La diminution de malondialdéhyde (MDA) et lactates déshydrogénases (LDH) ainsi que l'augmentation du nitrate, du nitrite, des globules rouges et du niveau de dopamine ont été observées à la suite de la consommation d'un complément sportif naturel qui est composé à 50% de MO [11].

1.2 Importance du présent projet de recherche

Plusieurs athlètes et pratiquants de l'activité physique, dans leur quête de victoire, de bonne performance et de gain musculaire, adoptent les suppléments alimentaires. Une étude réalisée en 2012 sur financement du Centre canadien pour l'éthique dans le sport (CCES), et portant sur 440 athlètes canadiens indique que 87 % de ceux-ci prenaient des suppléments, à la suite des conseils de leurs familles, amis, préparateurs physiques ou de leurs coéquipiers [18]. Ces produits, pour la plupart du temps, sont mis sur le marché sans aucune étude scientifique préalable pouvant révéler leurs effets, qu'ils soient positifs ou négatifs. Aussi, les compléments alimentaires peuvent contenir des substances interdites en sport ou dangereuses pour la santé. L'utilisation de certains compléments peut entraîner une diminution de la performance et un contrôle positif au test antidopage.

Les travaux portant sur la relation entre le MO et la performance physique ne semblent pas, à ce jour, abondants dans la littérature scientifique. Cependant, certains chercheurs ont observé qu'un complément alimentaire composé à 50% de MO avait eu un effet antioxydant, vasodilatateur et avait aussi augmenté le taux de globules rouges et le niveau de dopamine dans le sang avant et après une période d'exercice [11]. La dopamine est une molécule biochimique jouant un rôle déterminant dans la régulation de la glycémie à travers une transformation accélérée du glycogène en glucose et sa mise à disposition dans le sang [19]. Aussi assure-t-elle la protection du tractus gastro-intestinal et améliore-t-elle la fonction immunitaire [19]? L'augmentation du niveau de dopamine associée à des actions neuromodulatrices peut affecter directement le flux sanguin cortical local [20]. L'augmentation de la dopamine par le MO pourrait s'expliquer par la grande concentration de tyrosine (910 mg/100 g) et de phénylalanine (1400 mg/100 g) qu'elle contient [21]. Ainsi, le maintien des niveaux de dopamine suffisants pourrait être bénéfique pour la santé mentale et le fonctionnement physique [22].

Le MO améliore également l'endurance physique chez des rats soumis à un test d'endurance de nage forcée en retardant l'accumulation du lactate sanguin et d'azote uréique du sang. Elle augmente également la mobilisation et l'utilisation des graisses corporelles et ralentit l'épuisement des réserves de glycogène [10]. L'effet relaxant de MO sur le muscle squelettique a été également révélé par certains chercheurs [23].

Le présent projet ambitionne de contribuer à la promotion de l'utilisation des suppléments alimentaires naturels en testant si les infusions à base de poudre des feuilles de MO permettent d'améliorer les performances à un test physique de type contre la montre.

1.3 Objectif de recherche

L'objectif principal de la présente étude est de comparer la performance avant et après la consommation de MO chez des volontaires soumis à une épreuve d'endurance.

1.4 Énoncé du problème

En tenant compte des données dans la littérature sur le MO et ses effets bénéfiques énumérés plus haut, nous pensons que les sportifs qui prennent du thé à base de feuille de MO pourraient améliorer leurs performances physiques par une amélioration de la fréquence cardiaque, de la perception de l'effort et de la saturation musculaire locale en oxygène.

1.5 Hypothèses

L'étude a été conduite sur la base des hypothèses ci-après :

- Hypothèse principale:

La prise du thé à base de feuilles de MO améliore la performance sportive en endurance.

- Hypothèses secondaires:

La prise du thé à base de feuilles de MO:

- Améliore la perception de l'effort et l'oxygénation musculaire durant l'effort.
- Abaisse le lactate sanguin après l'effort et la fréquence cardiaque avant, pendant et après l'effort.

1.6 Connaissances spécifiques

De nombreuses études scientifiques ayant porté sur le MO ont montré que cette plante possède assez de vertus pouvant permettre l'amélioration de l'endurance physique. L'analyse de la composition chimique de chacune des parties de cette plante atteste de sa richesse exceptionnelle en matière de nutrition. Elle est très importante pour l'alimentation des populations à travers le monde, principalement dans les pays pauvres. En dehors des gousses qui renferment assez de lipides (6,05g/100g), le MO est une importante source de minéraux. Son potentiel nutritionnel est déterminé par son enrichissement en magnésium, en sodium, en potassium, mais surtout par ses concentrations particulièrement élevées en calcium et en fer [24]. Toutes les parties de la plante sont intéressantes depuis sa racine jusqu'à la graine. Cette dernière contient un polypeptide cationique (floculants) permettant de purifier l'eau [25]. Plusieurs travaux ont aussi confirmé l'activité anti-inflammatoire, analgésique, antimicrobienne et antioxydante de MO. En effet, il est rapporté que la feuille de MO contient une forte teneur en flavonoïdes. Ceci pourrait expliquer les effets anti-inflammatoires, analgésiques et antimicrobiens de la plante. Le MO pourrait induire ses effets anti-inflammatoires en inhibant la production d'oxyde nitrique (NO) [26 ; 27 ; 28]. L'extrait de feuille de MO s'est montré efficace comme complément naturel pour surmonter l'anémie chez les femmes à la suite d'un accouchement [29]. L'extrait éthanolique de feuilles de MO induit un effet relaxant sur le muscle squelettique, lequel effet pourrait être obtenu soit par l'action facilitatrice du GABA, soit par l'action mimétique du GABA [23]. En plus d'améliorer le métabolisme oxydatif par la voie SIRT1-PPAR α , le MO augmenterait la capacité enzymatique du système antioxydant (superoxyde dimustase, glutathion S-transférase et catalase) des cellules musculaires squelettiques [30].

Toutes ces découvertes sur le MO nous incitent à mieux comprendre les mécanismes sous-jacents à l'amélioration de la performance sportive afin de permettre aux sportifs d'avoir recours à son utilisation qui ne nécessitera pas beaucoup de ressources financières, vu la disponibilité et la facilité pour accéder à la plante. La réalisation de ce projet permettra non seulement de mettre la lumière sur une nouvelle plante médicinale qui pourrait être utilisée pour améliorer l'endurance cardiorespiratoire chez les sportifs et surtout donner naissance à d'autres projets scientifiques afin d'approfondir et déterminer les différentes façons dont cette plante pourrait être utilisée pour améliorer l'endurance musculaire chez les sportifs.

CHAPITRE II

REVUE DE LITTÉRATURE

Cette revue de littérature est structurée comme suit : la clarification conceptuelle, les généralités sur le MO, les composantes naturelles des feuilles de MO et enfin, une recension des écrits sur le MO et la pratique de l'activité physique.

2.1 Clarification conceptuelle

2.1.1 Plante médicinale

Le mot « plante » désigne un organisme vivant qui fabrique ses propres substrats en puisant, aussi bien dans le sol que dans l'air, les éléments nécessaires en utilisant la photosynthèse. Elle est constituée de cellules dont la forme et la taille varient. Elle est composée de feuilles, de racines, de tiges. Elle est dite médicinale lorsqu'une des parties possède des vertus curatives [31]. Les plantes médicinales peuvent être utilisées en nature (feuilles, bractées, fleurs en tisanes) pour des préparations de type galénique (teinture, extraits, pommades, sirops, etc.), ou à l'extraction de substances médicamenteuses (alcaloïdes, hétérosides, mucilages, saponosides, etc.) [32].

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) révèle que plus de 80% de la population mondiale a recours aux traitements traditionnels à base de plantes pour satisfaire leurs besoins en matière de santé et de soins primaires [33]. Cette pratique est surtout observée dans les pays en voie de développement [34]. Près de 90 espèces de plantes servent à la production des médicaments industriels à partir d'une association d'herbes issues de collectes sauvages [35]. Une forte proportion des médicaments prescrits par les médecins sont des dérivés de produit de santé naturel, et la moitié de cette proportion concerne les médicaments en vente libre [36].

2.1.2 Phytothérapie

Le mot "phytothérapie" se compose étymologiquement de "phuton" et "therapeia" qui signifient respectivement "plante" et "traitement". La phytothérapie peut donc se définir comme étant une méthode thérapeutique destinée à prévenir et à traiter certaines maladies à l'aide de plante, de partie de plante ou de préparation à base de plante [37]. Il existe deux types de phytothérapies :

- la phytothérapie traditionnelle (classique) qui est une thérapie de substitution ayant pour objectif de traiter différentes pathologies. Cette pratique qui se trouve être très ancienne, est basée sur l'utilisation de plantes selon les vertus découvertes empiriquement [38].
- la phytothérapie clinique (moderne) qui est une démarche médicale thérapeutique qui consiste à utiliser des plantes dont les composants sont connus pour préserver, pérenniser ou restaurer l'état de santé d'une personne. Elle tient compte du patient dans sa globalité, et pas uniquement de ses symptômes, et conçoit l'usage de la plante médicinale selon les connaissances scientifiques actuelles : c'est-à-dire en privilégiant les extraits végétaux les plus riches en principes actifs et les plus biodisponibles pour une efficacité optimale [39].

Afin de passer d'une phytothérapie traditionnelle incontrôlée à une phytothérapie moderne axée sur des données scientifiques approuvées et réalisée par des personnes qualifiées, il est nécessaire que des études approfondies soient effectuées. L'initiative de l'OMS dans ce domaine et dont la dernière réunion s'est tenue les 17 et 18 août 2023 en Inde, témoigne de la volonté de moderniser et de mettre en valeur la médecine traditionnelle.

2.1.3 Infusion

Du latin "*infusio-onis*", elle est une préparation aqueuse buvable, obtenue par l'action de l'eau bouillante sur une substance dont les principes solubles actifs se diffusent dans l'eau par macération [40]. Ce procédé est souvent utilisé pour les feuilles, les fleurs et les plantes riches en huiles essentielles. Il permet une bonne extraction des principes actifs hydrosolubles [41]. Dans le cadre de notre étude, nous avons adopté une méthode d'infusion standard. Ceci consiste à verser de l'eau chaude refroidie à 80° sur la poudre de la feuille de MO. Cette méthode permet l'extraction des composés phytochimiques tels que les polyphénols. Toutefois, elle pourrait détruire les composés qui ne résistent pas à une forte température telle que les anthocyanines et provoquer la dénaturation des protéines [42]. La durée de l'infusion (5min) pourrait ne pas permettre la libération de certains composés tels que les tanins, qui nécessite une longue durée d'infusion afin de se transférer dans le liquide.

2.1.4 Performance

La notion de performance est souvent évoquée lorsqu'on parle d'une activité physique spécialisée (sport individuel ou sport collectif). Elle peut s'exprimer sous plusieurs formes telles qu'une distance, un temps, un classement ou un résultat. Elle est le résultat d'un entraînement complexe. Selon Platonov (1984), la performance sportive est la possibilité maximale d'un individu dans une discipline à un instant précis de son développement [43]. Dans le cadre de notre étude, le temps de parcours sur vélo stationnaire a été pris comme performance effectuée par les participants.

2.2 Généralités sur le *Moringa Oleifera*

2.2.1 Aspect botanique

Moringa Oleifera Lam. (Synonyme : *Moringa pterygosperma* Gaertner) appartient à la famille monogénétique des arbustes et arbres de la famille des « Moringaceae » qui est composée d'environ 13 espèces [44]. Généralement, MO possède un tronc principal avec une couronne large, ouverte et avec une forme de parapluie [45]. Ce tronc mou, spongieux, et souvent droit est parfois très peu développé [46; 47]. Ainsi, son diamètre est compris entre 10 et 45 cm de large, mais peut parfois atteindre jusqu'à 60 cm [45]. Grand rhizome souterrain, le tronc de cet arbre atteint 1,5 à 2 m de haut avant de se ramifier, bien qu'il puisse parfois atteindre les 3 m [46; 47].

L'arbre de MO possède des feuilles qui portent sur des pétioles de 4-15 cm de long avec 8 à 10 paires de pennes et qui sont disposées en alternance [46; 45]. Ces feuilles sont tripennées et mesurent généralement 25-60 cm de long, mais elles peuvent parfois être aussi petites avec 6,5 cm de long et aussi très grandes avec 90 cm de long [45]. Elles sont recouvertes d'un duvet gris lorsqu'elles sont jeunes, portent 3-13 folioles qui mesurent 1 à 2 cm de long et 0,3 à 0,6 cm de large [47].

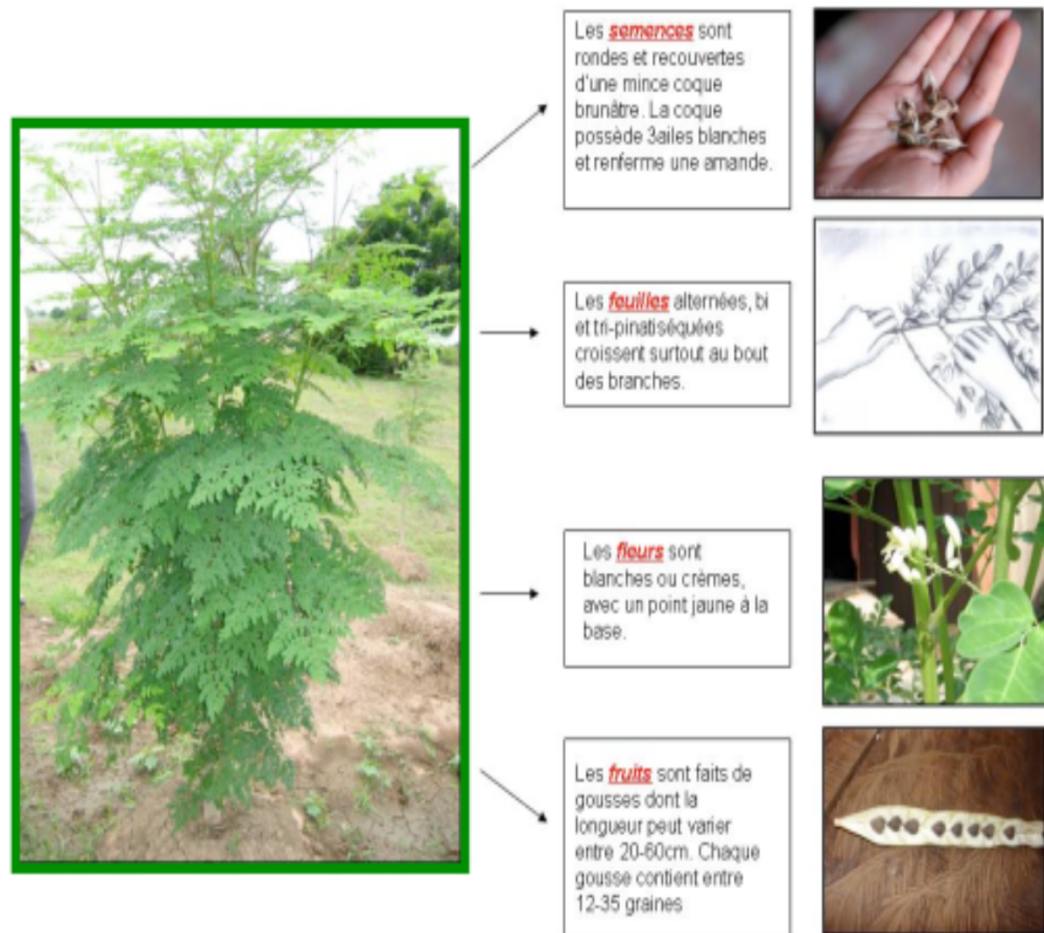


Figure 2.1 Description des différentes parties de *Moringa Oleifera*

Source : <https://afroculture.net/moringa-oleifera-plante-traditionnelle-miracle/>

2.2.2 Répartition géographique

Arbre à croissance rapide, le MO est l'un des végétaux les plus utiles dans les régions tropicales. Sa provenance exacte est quelque peu obscure en raison de sa culture à grande échelle qui date des temps anciens [45]. Cependant, elle est considérée comme originaire des régions d'Agra et de Oudh, au nord-est de l'Inde et au sud de la chaîne

de l'Himalaya [45; 48; 46]. Selon Tchiégang et Kitikil (2004), cette plante pousse spontanément sans aucun soin humain et se retrouve donc à l'état naturel [49].

2.2.3 Usages

Le MO est une plante dont l'utilisation s'étend sur plusieurs de ses parties telles que les feuilles, les fleurs, les gousses, les graines, les écorces et les racines. Elle est plurivalente en raison de ses multiples utilisations. L'utilisation faite des différentes parties de cette plante est présentée sur la figure 2.2 [46].

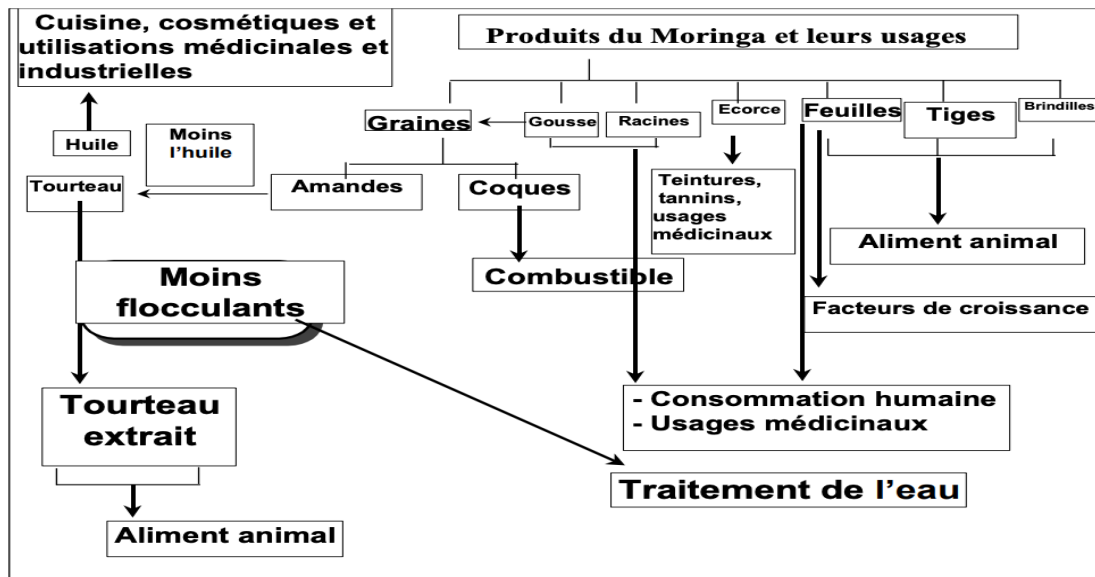


Figure 2.2 Utilisations des différentes parties de *Moringa Oleifera*

Plusieurs parties de la plante sont utilisées en médecine, notamment dans les remèdes traditionnels et populaires pour divers traitements. Par exemple, le jus des feuilles est utilisé pour la stabilisation de la tension artérielle, les fleurs pour soigner les inflammations, les gousses pour les douleurs articulaires, les racines pour le traitement du rhumatisme et l'écorce comme digestif [50 ; 45]. Le MO a été largement décrit

comme ayant des propriétés antibiotiques à cause de l'isothiocyanate de benzyle qui s'y trouve. Elle possède aussi des propriétés préventives du cancer, qui pourraient être attribuées à la richesse de la plante en vitamine E qui est connue pour son effet inhibiteur sur la prolifération cellulaire [48]. Plusieurs composés bioactifs, dont le 4-(α -l-rhamnosyloxy) benzyl isothiocyanate, la niazimicine et le β -sitostérol-3-O- β -d-glucopyranoside présents dans la plante pourraient être responsables de ses propriétés anticancéreuses [51].

À différentes doses, l'extrait aqueux des feuilles de MO a montré une activité antihyperglycémiant [52]. Il agit de façon déterminante sur la baisse du taux de cholestérol sanguin chez des rats soumis à un régime riche en graisse. Cet état de choses pourrait s'expliquer par la présence de β -sitostérol dans la feuille de la plante [53]. Les fruits de MO ont également un effet hypolipémiant sur des lapins soumis à un régime hypercholestérolémique pendant 120 jours. En effet, ils réduisent le profil lipidique du foie en abaissant le cholestérol sérique, les phospholipides, les triglycérides, les VLDL (Very Low Density Lipoprotein), les LDL (Low Density Lipoprotein), le rapport cholestérol/phospholipides et l'indice athérogène [54]. L'extrait aqueux et d'éther de pétrole de l'écorce de la racine de MO s'est montré capable d'activités antibactériennes et antifongiques [55 ; 56]. Il a été également montré que les feuilles et fleurs de MO ont des propriétés anthelminthiques [57]. Elles servent à traiter plusieurs pathologies telles que : les inflammations, les maladies musculaires, l'hystérie, les tumeurs, l'agrandissement de la rate. Elles réduisent aussi le taux de cholestérol dans le sang [58]. L'extrait des feuilles de MO a montré une importante action dans le traitement contre la fièvre typhoïde [59].

La présence d'antioxydants tels que l'acide ascorbique, les flavonoïdes, les composés phénoliques et les caroténoïdes dans l'extrait aqueux des feuilles de MO lui procure sa capacité à lutter contre les radicaux libres [60]. La quantité de flavonoïdes, de flavonols, de phénols et de proanthocyanines suivant un extrait de feuilles de MO à

l'acétone s'est avérée supérieure au niveau de ces composés mesurés après une extraction en condition aqueuse. De plus, il est important de noter que ces composés possèdent une forte activité antioxydante et anti-radicalaire [61]. Des analyses phytochimiques préliminaires ont été effectuées par différents groupes et ont révélé que la teneur totale en molécules de nature phénoliques dans les différents types d'extraits du MO obtenus était significativement élevée, 336.95 ± 5.28 mg/g extrait en acide gallique (AGE) [62]. La teneur totale en composés phénoliques de la poudre d'extrait de feuilles de MO a été déterminée et il a été rapporté que l'équivalence de l'extrait en acide gallique (120 mg/g) et en quercétine (12.25 mg/g) était particulièrement élevée [63; 64]. Les feuilles de MO possèdent une teneur totale élevée en phénols (247,53 mg d'équivalents d'acide gallique/g d'extrait) et en flavonoïdes (34,13 mg/g d'équivalents de rutine/g d'extrait). Une quantité appréciable de tannins a également été détectée dans l'extrait d'échantillon (10,5 mg d'équivalents catéchine/g d'extrait) [65]. Les différents résultats obtenus ont révélé que le MO contient plusieurs composés phytochimiques qui lui confèrent son pouvoir antioxydant.

L'effet de la feuille de MO sur le microbiote intestinal a également été montré par plusieurs travaux scientifiques [66;67;68]. En effet, il a été révélé que la fermentation des feuilles de MO induisait la production d'acide acétique, propionique et n-butyrique entraînant une diminution du pH, ainsi que la croissance de bactéries coliques bénéfiques [66]. Une étude ayant examiné les effets des polysaccharides de MO sur le microbiote cæcal de souris a montré que le MO a eu un effet positif sur la santé intestinale des souris. En effet, les polysaccharides de la plante ont agi sur la morphologie de l'intestin grêle en améliorant la longueur des villosités et la profondeur des cryptes dans l'iléon et le jéjunum. Le rapport entre la longueur des villosités et la profondeur des cryptes dans le jéjunum a aussi augmenté. L'augmentation des bactéries bénéfiques et la diminution des bactéries nocives dans le cæcum, affectant davantage la fonction du microbiote, pourraient être causées par les polysaccharides de MO [67]. De plus, elles ont régulé 114 métabolites enrichis dans la voie liée à la synthèse et au

métabolisme des micromolécules [67]. La richesse de MO en composés phénoliques a été montrée par plusieurs études phytochimiques réalisées sur la plante. Cependant, un travail plus récent a montré que les polyphénols pouvaient modifier la composition microbienne de l'intestin, et qu'ils peuvent être convertis à leur tour en composés bioactifs par certaines bactéries intestinales [69]. Ceci indique l'existence d'une relation à double sens « polyphénols-microbiote » qui influence grandement la santé de l'hôte. D'une part, la première direction « Polyphénol-microbiote » a été étudiée par Pacheco-Ordaz et son équipe dans des travaux récents en 2018 [69]. Ils ont rapporté que les composés phénoliques inhibent la croissance de certaines souches pathogènes d'*Escherichia coli*, alors qu'ils favorisent la croissance de certains probiotiques tels que *Lactobacillus*. D'autre part, dans la direction inverse « microbiote-polyphénol », les preuves ont montré que les Bifidobactéries et Lactobacilles font partie des rares espèces bactériennes catalysant le métabolisme des composés phénoliques par certaines voies cataboliques et sont très probablement responsables de la décomposition extensive des structures polyphénoliques en une série de métabolites phénoliques de faible poids moléculaire et absorbable. Le mécanisme pourrait être, soit par la capacité de dégradation des glycanes des Bactéroïdes, qui est supérieure à celle des Firmicutes, soit par les produits finaux du métabolisme colique des polyphénols [68].

2.3 Composantes naturelles des feuilles de *Moringa Oleifera*

Les feuilles de MO sont des aliments particulièrement riches en nutriments [70] ; ce qui fait d'elle un légume de bonne qualité nutritionnelle. Dans son livre intitulé *Survival and Subsistence in the Tropics*, Frank Martin (1978) écrit : « Parmi les légumes à feuilles, il y en a un qui se distingue tout particulièrement, c'est l'arbre de MO. Ses feuilles sont une source importante de vitamine A et C lorsqu'elles sont consommées crues. Elles sont une bonne source de vitamine B et une de meilleures sources végétales de minéraux. Leur teneur en calcium est très élevée pour une plante et leur teneur en phosphore faible. Leur teneur en fer est très bonne (aux Philippines,

on recommanderait cette feuille aux personnes souffrant d'anémie). Elles sont une excellente source de protéines et contiennent très peu de lipides et de glucides. Ainsi, ces feuilles sont un des meilleurs aliments végétaux qui soient. » [71 ; 72]. Dans son autre livre intitulé *Edible Leaves of the Tropics*, le même auteur ajoute que les feuilles de MO sont une source incomparable de méthionine, un acide aminé contenant du soufre souvent déficient dans les régimes alimentaires [73]. Pour ce qui est du taux de matière sèche contenu dans ces feuilles, il est élevé par rapport à la plupart des autres légumes [70]. Cette particularité de la feuille de MO fait d'elle un légume frais encore plus intéressant puisqu'à une même dose de 100 g, les feuilles fraîches apporteront deux fois plus de nutriments que la plupart des autres légumes (voir figure 2.3) [70].

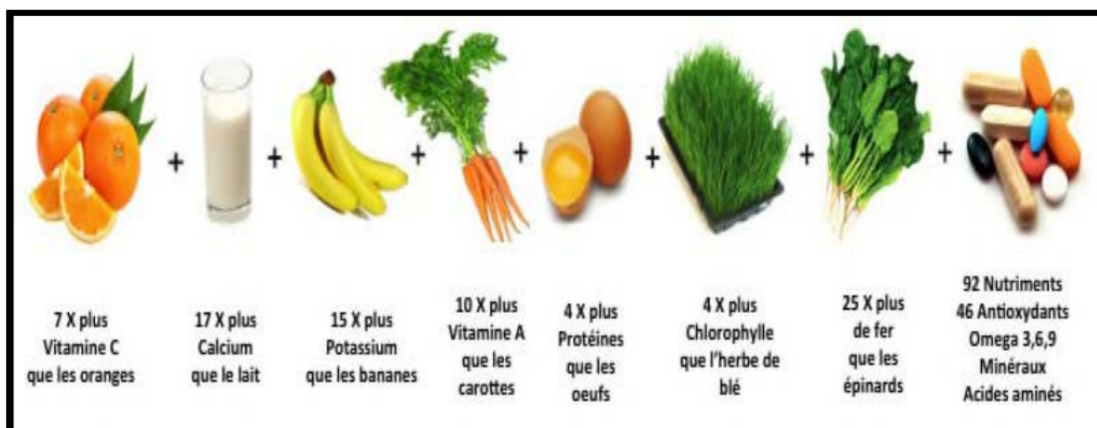


Figure 2.3 Valeur nutritionnelle de la feuille de *Moringa Oleifera* comparée à celles d'autres aliments [48]

Ces différents micronutriments présents en forte quantité dans la feuille de MO ont chacun un effet bénéfique pour la santé humaine.

La vitamine C (acide L-ascorbique) joue un rôle physiologique beaucoup plus large et qui englobe des processus très différents allant de la facilitation de l'absorption du fer en passant par l'implication dans les hormones à la synthèse de la carnitine pour des rôles importants dans les processus épigénétiques. Toutefois, des doses élevées de vitamine C agissent comme pro-oxydant plutôt qu'un antioxydant [74]. Le calcium est

un élément essentiel qui remplit de nombreuses fonctions biologiques dans le corps humain, dont l'une des plus importantes est la minéralisation du squelette. Un apport alimentaire adéquat en calcium est important pour le développement et le métabolisme osseux [75]. Le fer est un élément indispensable à toute forme de vie. Il assure le transport d'oxygène et catalyse les réactions de transfert d'électrons, de fixation d'azote ou de synthèse d'ADN [76]. Les protéines, quant à elles, ne sont pas moins indispensables dans l'alimentation. Elles fournissent des acides aminés et de l'azote. Elles aident aussi à construire et réparer les tissus corporels [77].

Il ressort des travaux de Pallavi et Dipika (2010), que le séchage des feuilles de MO assure la concentration des nutriments. Toutefois, à forte température, des pertes de nutriments tel que les vitamines sont observées. Malgré le fort taux de vitamine perdue pendant le séchage, la poudre de feuille de MO constitue un complément nutritionnel très riche (voir tableaux 2.1, 2.2, 2.3 et 2.4) [78; 70; 79; 21].

**Tableau 2.1 Composition chimique de la poudre des feuilles de *Moringa Oleifera*
(pour 100 grammes)**

Sources Constituants	Noamesi et al., 2010	Pallavi et Dipika, 2010	Fuglie, 2005
Matière sèche (%)	90 – 95	94	92,5
Calorie (kcal)			205
Protéines (g)	20 – 26	23,78	27,1
Huile (g)		7,014	2,3
Fibre (g)		11,8	19,2

Tableau 2.2 Composition vitaminique de la poudre des feuilles de *Moringa Oleifera* (pour 100 grammes)

Vitamines	Sources	Noamesi et al., 2010	Pallavi et Dipika, 2010	Fuglie, 2005
	Vitamine C (mg)		15 – 100	56
Vitamine A (β-carotène)		4000 - 8000 μg	37800 μg	16,3 (mg)
Vitamine E (mg)		80 – 150		113

Tableau 2.3 Composition en minéraux de la poudre des feuilles de *Moringa Oleifera* (pour 100 grammes)

Minéraux	Sources	Noamesi et al., 2010	Pallavi et Dipika, 2010	Fuglie, 2005
Calcium: Ca (mg)		1600 – 2200	3467	2003
Potassium : K (mg)		800 – 1800		1324
Magnésium : Mg (mg)		350 – 500		368
Phosphore : P(mg)		200 – 600	215	204
Fer : Fe (mg)		18 – 28	19	28,2
Manganèse : Mn (mg)		5 à 9		
Zinc : Zn (mg)		1,5 – 3		
Cuivre : Cu (mg)		0,7 - 1,1		0,57

Tableau 2.4 Composition en acide aminés de la poudre des feuilles de *Moringa Oleifera* (pour 100 grammes)

Minéraux	Sources	Broin (2005) citée par Malo (2014)
Arginine (mg)		1600
Histidine (mg)		530
Isoleucine (mg)		1140
Leucine (mg)		2050
Lysine (mg)		1200
Phénylalanine (mg)		1400
Thréonine (mg)		1080
Tryptophane (mg)		580
Valine (mg)		1400
Acide aspartique (mg)		1670
Acide glutamique (mg)		2470
Sérine (mg)		840

Glycine (mg)	960
Alanine (mg)	1260
Proline (mg)	1230
Tyrosine (mg)	910
Cystéine (mg)	360

Hormis les composés nutritionnels des feuilles de MO, l'analyse phytochimique de cette partie de la plante a montré qu'elle contient en quantité élevée, les glycosides cardiaques, les alcaloïdes, les saponines, les stéroïdes/triterpènes et les polyphénols [80; 81]. Ces derniers étant une multitude de composés regroupés en de petits groupes, les flavonoïdes et les tanins sont les polyphénols les plus retrouvés dans les feuilles de la plante. Parmi les flavonoïdes présents dans les feuilles de MO, nous avons la quercétine et le kaempférol qui sont à l'origine des effets antioxydants et anti-inflammatoires de la plante [82; 83; 84]. Il a été aussi montré que la quercétine à une importante action sur la tolérance à l'exercice de la biogenèse mitochondriale [85]. En effet, la quercétine a augmenté l'expression de l'ARNm des protéines PGC-1 α et SIRT1. Elle augmente aussi l'expression de l'ADNmt et de la concentration de cytochrome c. Ces changements observés dans les marqueurs de la biogenèse mitochondriale ont été associés à une augmentation de la capacité d'endurance maximale et de l'activité de course volontaire chez les animaux.

2.4 Feuilles de *Moringa Oleifera* et l'activité physique

Le criblage phytochimique des différentes préparations des feuilles de MO a révélé sa richesse en tannins, flavonoïdes, alcaloïdes, saponines, polyphénols, stéroïdes/triterpènes et glycosides cardiaques [80 ; 81]. Ces différents constituants découverts dans les feuilles de MO lui procurent certaines de ses propriétés qui sont bénéfiques pour la pratique sportive.

Le MO serait bénéfique aux sportifs face au stress oxydatif découlant de la pratique de l'activité physique. En effet, plusieurs études ont établi la capacité antioxydante du MO. Une étude réalisée sur des sujets diabétiques a révélé que l'extrait aqueux des feuilles de MO avait significativement augmenté la teneur en superoxyde dismutase (SOD), en glutathion S-transférase (GST) et en catalase (CAT) dans les tissus des rats et des chèvres traités par l'extrait. Le traitement de rats et de chèvres avec un extrait aqueux de feuilles de MO a également diminué significativement les niveaux d'un marqueur du stress oxydant, le malondialdéhyde (MDA) [4 ; 81]. De plus, une augmentation significative de la valeur de la « Total SulfHydryl groups » (TSH) a été observée chez les rats traités avec le MO par rapport au groupe témoin [86]. L'extrait de feuilles de MO a entraîné une diminution significative des radicaux libres dans le foie des poissons tilapias exposés au pendiméthaline (PM) [87]. Une étude sur la feuille de MO a également conclu qu'elle peut inhiber les effets des lésions hépatorénales en régulant le stress oxydatif aux niveaux biochimique, moléculaire et cellulaire [88].

Le MO a également un effet ergogène. Il augmente l'expression de marqueurs métaboliques clés qui permettent d'améliorer le métabolisme énergétique dans le muscle squelettique adulte [9]. Sa feuille abaisse la pression artérielle (PA) en induisant la relaxation de la petite artère de résistance via l'activation de la voie eNOS-NO-sGC. En effet, le MO stimule la libération de l'oxyde nitrique (NO) dérivé de l'endothélium pour conduire sa vasorelaxation à abaisser la pression artérielle [89]. Ceci pourrait

s'expliquer par la présence d'arginine en quantité suffisante dans ses feuilles. Une étude, réalisée par Dudley et coll., a révélé que L-arginine empêche la destruction du muscle squelettique tout en améliorant la production de NO [90]. Certains auteurs ont aussi révélé l'effet relaxant du MO sur le muscle squelettique [23]. Quelques études menées chez des sportifs ont révélé qu'une supplémentation à la feuille de MO est bénéfique sur plusieurs points pour la pratique de l'activité physique. Certains chercheurs ont également observé qu'un complément alimentaire composé à 50% de MO améliore considérablement l'endurance physique chez des personnes âgées. Une réduction du stress oxydatif des muscles et des tissus pendant l'exercice a également été observée chez les participants [11].

2.5 Course contre la montre sur vélo stationnaire

Une variété de modèles est utilisée par les chercheurs pour étudier l'effet d'une substance naturelle chez des sportifs. Les plus utilisés sont les tests sur vélo stationnaire (course à vélo) ou sur tapis roulant (course à pied). Toutefois, la distance ou le temps de travail du test varient selon l'objectif de l'étude et de la population visée. Dans l'étude de Best et coll. 2021, une course contre la montre de 40 km sur vélo stationnaire a été utilisée [91].

Dans le cadre de notre étude, nous avons opté pour une course contre la montre de 20 km sur vélo stationnaire qui ne représente pas un modèle standard. En tenant compte de l'hétérogénéité de notre population (sportif confirmé et débutant) nous, nous sommes assurées de ce que la charge ne soit pas trop importantes pour les participants. D'où le choix de mettre la charge au seuil ventilatoire 1+10% et de ne pas fixer un rythme de pédalage.

CHAPITRE III

MÉTHODOLOGIE

Dans ce chapitre, nous allons présenter de façon détaillée le protocole expérimental utilisé dans le cadre de cette étude.

3.1 Phase préparatoire

3.1.1 Obtention de l'extrait aqueux

En référence aux études de Olson et coll. (2000), de Loomis et Hayes (1996) qui ont démontré que les feuilles de MO à une certaine dose sont non toxiques [92; 93]. Inspiré de la méthode d'infusion utilisé par Coz-Bolaños et al. qui a utilisé de 240ml d'eau bouillante et 3g de poudre [94]. Nous avons choisi d'administrer une dose de 4g/50kg de poids corporel à nos participants. La poudre des feuilles de MO a été infusée pendant 5 minutes dans 200 millilitres (ml) d'eau chaude refroidie à 80°, puis filtrée.

3.1.2 Population d'étude

39 participants (22 hommes et 17 femmes), âgés de 18 à 35 ans, ont été inclus. Ils étaient tous en bonne santé et étaient physiquement actifs (plus de 150 minutes par semaine) et ont été recrutés au moyen d'affiches, et des courriels de masse. Les

premiers participants ont également été sollicités pour porter l'information à leurs proches.

3.1.3 Critères de sélection des participants

Critères d'inclusion :

- Hommes et femmes (tranche de 18 à 35 ans inclus)
- Être physiquement aptes et actifs (plus de 150 minutes d'activité physique par semaine)
- Être disponible pour passer prendre le traitement au laboratoire

Critères d'exclusion :

- Non habitués aux sports d'endurance
- Prise de médicaments (stimulants, opiacés, antagonistes et modulateurs hormonaux)
- Être fumeur et consommation d'alcool élevé (plus de deux consommations par jour)

3.1.4 Aspects déontologiques et consentement

L'étude a reçu une approbation du comité d'éthique institutionnelle de l'Université du Québec à Montréal (UQÀM) (2023-4759, CERPE plurifacultaire). Tous les participants ont eu l'occasion de poser toutes leurs questions afin de bien comprendre les exigences, les avantages et les risques associés à cette étude avant de donner leur approbation de façon éclairée. Les participants ont accepté de ne pas utiliser des médicaments, y compris des vitamines et de la caféine quelques jours avant le début de

cette étude et pendant la période de l'expérimentation. Ils ont aussi accepté de ne pas modifier leurs habitudes alimentaires et d'entraînement sportif durant l'étude.

3.2 Phase expérimentale

3.2.1 Tests et mesures

Un accueil chaleureux a été réservé aux participants. Ensuite, nous nous sommes assurés que le formulaire de consentement ait été lu, compris et signé par chaque participant. Puis enfin, nous avons procédé à l'énumération des instructions détaillées sur le déroulement de la séance aux participants.

- **Mesures anthropométriques**

Les paramètres suivants ont été mesurés : la taille a été mesurée à l'aide d'un stadiomètre (Stadler). Le poids corporel a été mesuré à l'aide d'une balance à Bio-impédance (Inbody 270).

- **Mesure de la fréquence cardiaque**

Nous avons mesuré la fréquence cardiaque (FC) des participants à l'aide d'un cardiofréquencemètre (H10, Polar, Fi). La FC de repos a été mesurée avant le début de l'effort pendant cinq (5) minutes en position assise. Ensuite, elle a été enregistrée pendant les deux épreuves (VO_2max et endurance) et durant cinq (5) minutes après l'arrêt de l'exercice d'endurance (période de récupération post-exercice).

- **Mesure du volume maximal d'oxygène consommé (VO_2max)**

L'objectif premier de ce test est d'obtenir le VO_2max et le seuil métabolique (seuil ventilatoire 1 et seuil ventilatoire 2) à l'aide d'un test progressif jusqu'à épuisement sur

un vélo stationnaire (Excalibur, Lode, SE) couplé à un système de chariot métabolique respiration par respiration (MetaMax, Cortex, DE). En effet, chaque participant.e avait un masque fixé sur le visage et relié par un tube à l'appareil de mesure des échanges gazeux. Le test à l'effort s'est déroulé tel que décrit par Lalonde et coll. (2020). Brièvement, avant chaque test, les analyseurs de gaz ont été calibrés avec des gaz d'étalonnage (25 % O₂ et équilibre N₂ ; et 16 % O₂, 5 % CO₂ et équilibre N₂) et la turbine de volume d'air avec une seringue de 3 L. Le logiciel pour afficher VO₂max et d'autres paramètres a été fourni par le fabricant (ver. 7.2.0.52, 2001-2011, Medgraphics Corporation, St-Paul, MN) [95].

Un échauffement de cinq minutes a été effectué avant le test incrémental sur vélo stationnaire à une cadence de 90 tr/min. La charge initiale a été fixée à 25 watts (W) et après deux minutes a été augmentée à 50 W pour le reste de la période d'échauffement. À la fin de l'échauffement, la charge a été fixée à 25 W au début et ensuite elle a été augmentée de 25 W chaque minute jusqu'à épuisement tout en maintenant une cadence minimale de 60 RPM (rotations par minute) qui pouvait varier de 60 à 100 RPM. Les participants devaient atteindre deux des quatre critères suivants afin de confirmer le VO₂max : un plateau d'absorption d'O₂ malgré une charge de travail accrue, une valeur du rapport d'échange respiratoire >1.15, la fréquence cardiaque maximale prédite atteinte à l'aide de l'équation de l'âge 220 (si aucun plateau de $\dot{V}O_2$ n'a été atteint) ou une incapacité à maintenir la cadence de pédalage au-dessus de 50 RPM [96]. Afin d'obtenir le domaine d'intensité modérée et élevée, les seuils ventilatoires 1 et 2 ont été déterminés visuellement comme le point auquel, au cours de l'épreuve d'effort incrémentielle, l'équivalent ventilatoire pour l'O₂ ($\dot{V}E / \dot{V}O_2$) augmente sans aucun changement d'équivalent ventilatoire pour le CO₂ ($\dot{V}E / \dot{V}CO_2$) [97]. À la fin du test, les participants ont été invités à évaluer leur effort perçu sur une échelle de Borg [98].

Épreuve d'endurance

La FC et l'oxygénation musculaire ont été également mesurées durant l'épreuve d'endurance. La perception de l'effort de l'épreuve d'endurance (session RPE) a été aussi mesurée 20 minutes après la fin de l'épreuve. L'épreuve d'endurance a débuté avec une période d'échauffement où le participant a eu à pédaler à une cadence confortable (60-120 RPM) pendant 3 minutes avec une résistance de 50W. À la fin de leur échauffement, la résistance a été augmentée au niveau correspondant à leur seuil ventilatoire 1+10% (VT1+10%). Les participants ont ensuite été invités à effectuer une course contre la montre de 20 km dans les plus brefs délais. Pendant la course, les participants pouvaient voir la distance restante à parcourir, mais ils étaient aveuglés à toutes les autres informations. Le temps nécessaire pour terminer la course de 20 km a été enregistré. Le travail total, correspondant à l'énergie fournie (en kilojoules) pour exécuter l'exercice, a été calculé à l'aide de la formule :

$$\text{Energie déployée (kJ)} = \frac{\text{Charge (W)} \times \text{Temps (minutes)} \times 60}{1000}$$

3.2.2 Conception expérimentale

Ces travaux de recherche ont été menés sous la responsabilité et la coordination du candidat qui est le chercheur principal travaillant avec deux assistants sous la direction de ses superviseurs académiques.

Cette étude clinique randomisée consiste en un groupe avec un devis expérimental en chassé-croisé (cross over) avec les mêmes sujets qui ont été utilisés comme leurs propres témoins. Le temps de participation d'un sujet à l'essai a été divisé en trois périodes. La première période était d'une journée et consistait à accueillir le participant

au laboratoire afin de bien leur expliquer le but du projet et le déroulement des expérimentations, puis de le soumettre au test de VO₂max. Durant les deux périodes restantes, chaque participant a reçu un traitement différent. L'ordre d'administration des traitements a créé deux groupes dont l'effectif est égal à la moitié du nombre de participants inclus dans l'essai. Pour chaque participant, l'ordre d'application des traitements (séquence MO-Placebo ou Placebo-MO) a été déterminé de façon aléatoire. À mi-parcours, les sujets du groupe de traitement (M, MO) ont été croisés pour rejoindre le groupe de traitement (P, placebo). À la fin, tous les patients sont passés par chaque groupe de traitement (Figure 3.1).

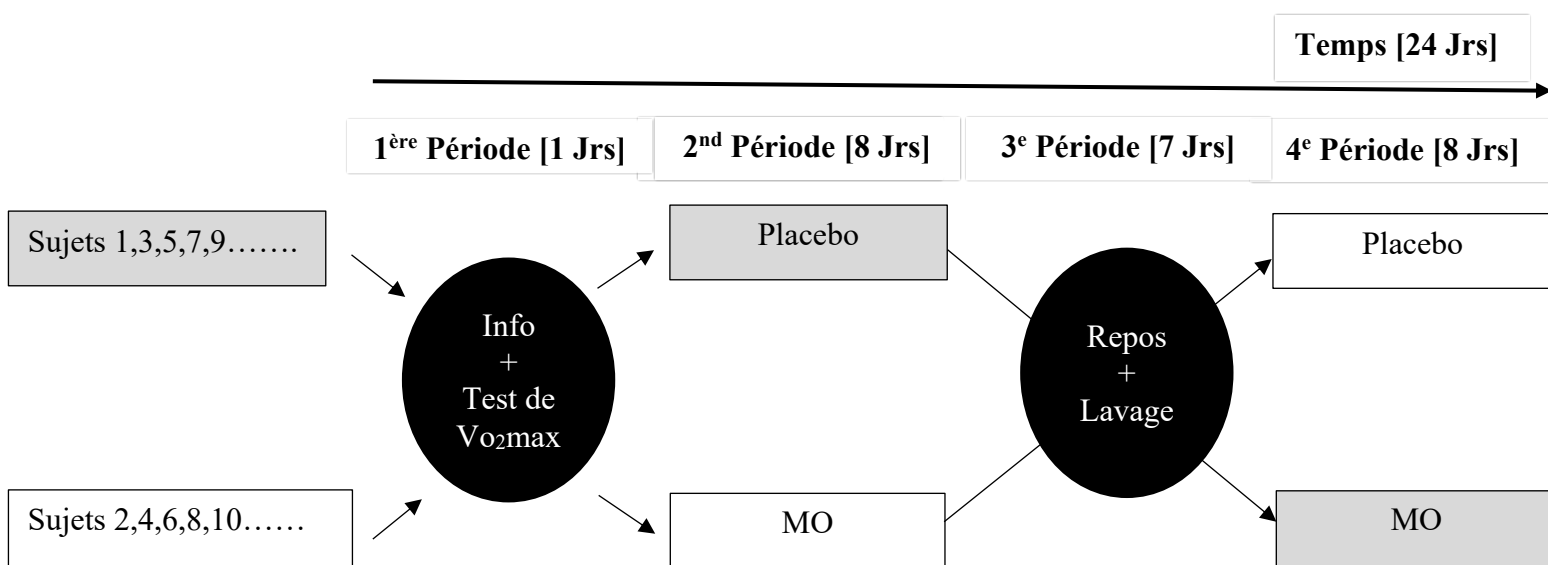


Figure 3.1 Représentation schématique de l'essai

- **1^{re} Période (1 jour)** : Les participants ont été invités au laboratoire afin de prendre connaissance du déroulement des expérimentations, puis ils ont été soumis au test de VO₂max. Dès le lendemain a démarré la seconde période.
- **2^{de} Période (8 jours)** : Les deux groupes, après la prise de deux doses de 200ml d'eau (Placebo) ou deux doses de 200ml de thé à base de la feuille MO

(Traitement) par jour pendant sept jours, ont été soumis à un effort soutenu le huitième jour.

- **3^e Période (7 jours):** Après la seconde période, les participants ont eu une semaine (7 jours) de repos et de sevrage avant le début de la quatrième période.
- **4^e Période (8 jours) :** au cours de cette période, nous avons changé l'ordre d'administration des traitements. Les deux groupes après la prise de deux doses de 200ml d'eau (Placebo) ou deux doses de 200ml de thé à base de la feuille MO (Traitement) par jour pendant sept jours, ont été soumis à un effort soutenu le huitième jour.

Des contenants opaques de couleur verte ont été utilisés pour administrer les différents traitements aux participants. La durée de l'étude a été de 24 jours.

3.3 Analyses statistiques

Les résultats sont présentés comme valeurs moyennes \pm l'écart type. La normalité des résultats a été vérifiée à l'aide du test Shapiro-Wilks. Le test-t pour les échantillons appariés a été utilisé afin de comparer la moyenne de nos différentes variables avant et après intervention. La différence significative a été définie à $p < 0.05$. La taille de l'échantillon a été calculée à l'aide de G-Power (ver 3.7) en utilisant une puissance statistique de 80% et une amélioration de 5% sur la performance au test d'endurance. La taille de l'échantillon requise était de 34 participants. Les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel de statistiques SPSS 27.0.

CHAPITRE IV

RÉSULTATS

Dans le cadre de cette étude, 34 sur 39 participants recrutés ont complété l'étude, dont 22 hommes et 17 femmes. Ce qui correspond à la taille d'échantillon prévue pour l'étude.

Tableau 4.1 Données anthropométriques et métaboliques de la population étudiée

	Âge (ans)	Poids (kg)	Taille (cm)	VO₂max relatif (ml/min/kg)	VO₂ SV1 (ml/min/kg)
Moyenne	25.9	71.4	170.4	40.1	23.5
Écart-type (SD)	4.5	16.5	10.0	8.4	6.8

VO₂ SV1, consommation d'oxygène au seuil ventilatoire 1.

Tableau 4.2 Données de diverses caractéristiques physiologiques et de performances suivant l'analyse statistique

	Placebo	MO	p	d
FCR (bpm)	71.42 ± 11.7	70.94 ± 12.1	0.764	0.05
Plus haute fréquence cardiaque (FCmax) (bpm)	172.4 ± 22.5	175.9 ± 23.1	0.002	-0.9
FCrécup (bpm)	91.4 ± 15.9	92.4 ± 15.0	0.625	-0.1
RPE	13.9 ± 2.8	14.3 ± 2.5	0.357	-0.2
Lactate (mmol/L)	7.2 ± 4.2	7.4 ± 3.5	0.635	-0.1
Temps (min)	50.0±22.3	49.33±21.9	0.021	0.4
Travail total (kJ)	293.6 ± 75.3	290.1 ± 77.4	0.012	0.5
Cadence (RPM)	87.6 ± 18.5	93.3 ± 15.8	0.008	-0.5
RPM_T1	85.71 ± 18.54	86.53 ± 19.92	0.852	-0.04

RPM_T2	92.12 ± 17.92	92.65 ± 15.99	0.868	-0.03
RPM_T3	93.76 ± 19.43	97.41 ± 13.09	0.285	-0.2
RPM_T4	94.77 ± 14.33	97.08 ± 12.06	0.477	-0.2
RPM_T5	93.35 ± 21.15	100.47 ± 20.59	0.064	-0.3
RPM_T6	94.81 ± 29.57	100.38 ± 19.28	0.036	-0.3
RPM_T7	101.35 ± 20.27	109.59 ± 22.37	0.03	-0.4
Saturation musculaire en oxygène (SmO₂) 25%	84.67 ± 17.27	84.58 ± 20.16	0.977	0.01
SmO₂ 50%	82.11 ± 17.85	87.02 ± 18.83	0.141	-0.3
SmO₂ 75%	87.88 ± 18.39	81.27 ± 22.15	0.093	0.4
SmO₂ 100%	84.10 ± 19.40	85.28 ± 21.19	0.699	-0.08

Hémoglobine Totale (THb) 25%	99.41 ± 1.16	99.6 ± 0.63	0.368	-0.2
THb 50%	99.09 ± 1.15	99.29 ± 0.62	0.524	-0.1
THb 75%	99.28 ± 0.81	99.24 ± 0.62	0.831	0.05
THb 100%	99.19 ± 1.40	98.85 ± 1.17	0.424	0.2

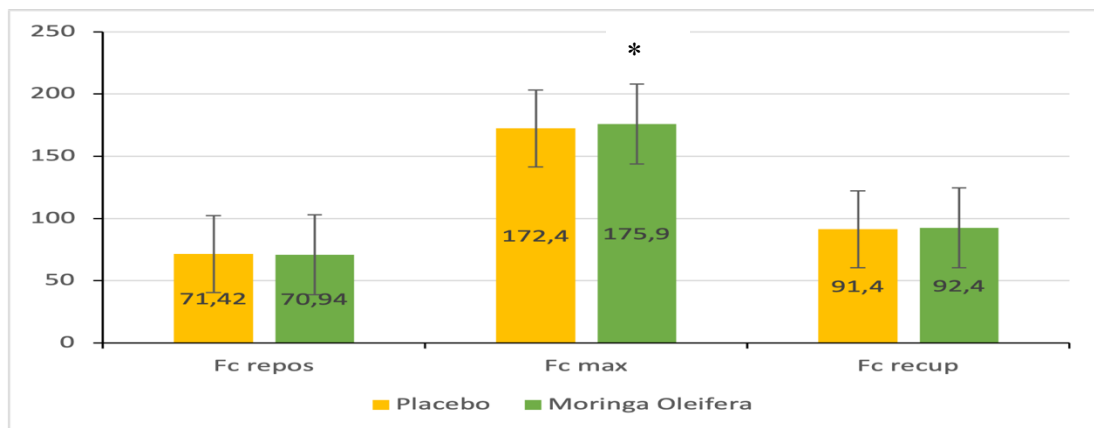


Figure 4.1 Plus haute fréquence cardiaque (bpm) avant et après consommation de l'infusion de la feuille de *Moringa Oleifera*

La figure 4.1 présente la fréquence cardiaque de repos, la plus haute fréquence cardiaque à l'effort et la fréquence de récupération avant et après consommation de l'infusion de MO. La consommation de l'infusion à base de poudre de feuilles de MO n'a pas induit de changement significatif au niveau de la fréquence cardiaque de repos et de récupération ($\Delta 71.42 \pm 11.7$ vs 70.94 ± 12.1 ; $p=0.764$; $d=0.05$ / $\Delta 91.4 \pm 15.9$

vs 92.4 ± 15.0 ; $p=0.625$; $d=-0.1$ respectivement). Cependant, une augmentation significative a été observée au niveau de la fréquence cardiaque maximale à l'effort (172.4 ± 22.5 vs 175.9 ± 23.1 ; $p=0.02$; $d=-0.9$). Le MO semble donc permettre une augmentation de la fréquence cardiaque à l'effort. Ceci ne peut être considéré comme une anomalie, puisque l'augmentation a été observée à l'effort. Cependant, au repos et 7 min après l'effort, le rythme cardiaque est resté similaire en réponse aux deux traitements (MO et Placebo). On peut donc retenir qu'en présence de MO, les participants ont réalisé un effort plus intense qui a entraîné l'augmentation du rythme cardiaque.

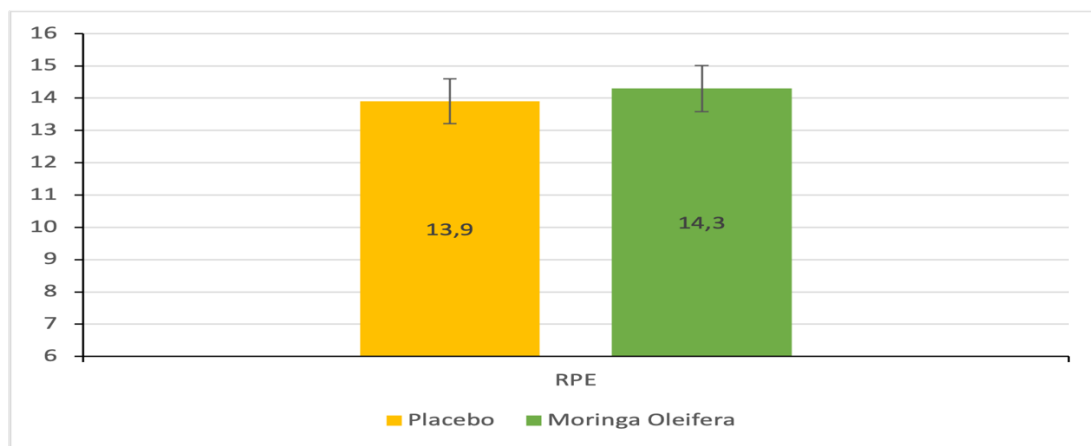


Figure 4.2 Perception de l'effort avant et après consommation de l'infusion de la feuille de *Moringa Oleifera*

La figure 4.2 présente la perception de l'effort estimé par les participants avant et après consommation de l'infusion de MO. La RPE estimée par les participants à la fin des deux tests n'est pas significativement différente ($\Delta 13.9 \pm 2.8$ vs 14.3 ± 2.5 ; $p=0.357$; $d=-0.2$). Le MO semble ne pas avoir un effet sur la perception de l'effort des participants.

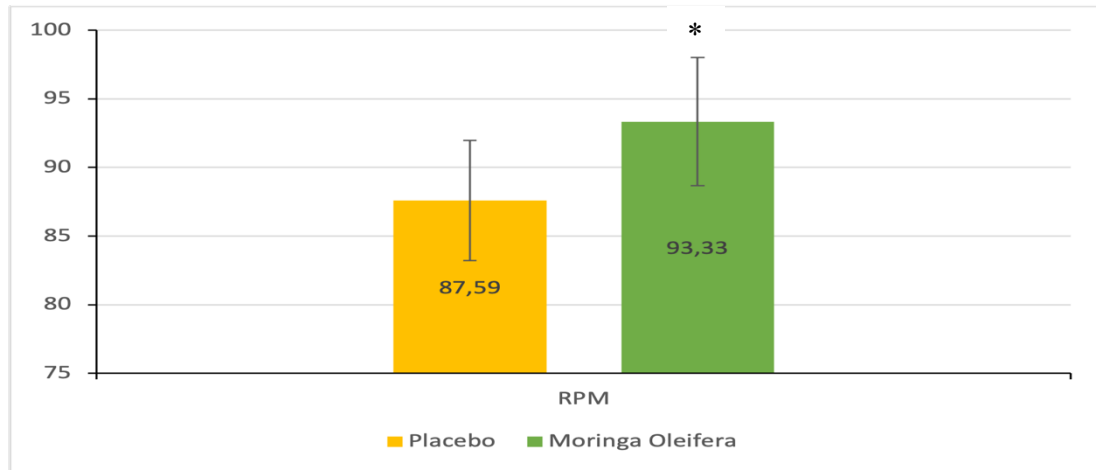


Figure 4.3 Cadence de pédalage moyenne (RPM) avant et après consommation de l'infusion de la feuille de *Moringa Oleifera*

La figure 4.3 présente la cadence de pédalage moyenne avant et après consommation de l'infusion de MO. On y observe une augmentation significative de la cadence de pédalage moyenne ($\Delta 87.6 \pm 18.5$ vs 93.3 ± 15.8 ; $p=0.008$; $d=-0.5$) au cours de l'épreuve d'endurance après la consommation d'une infusion à base de feuilles de MO par rapport à la consommation du placebo.

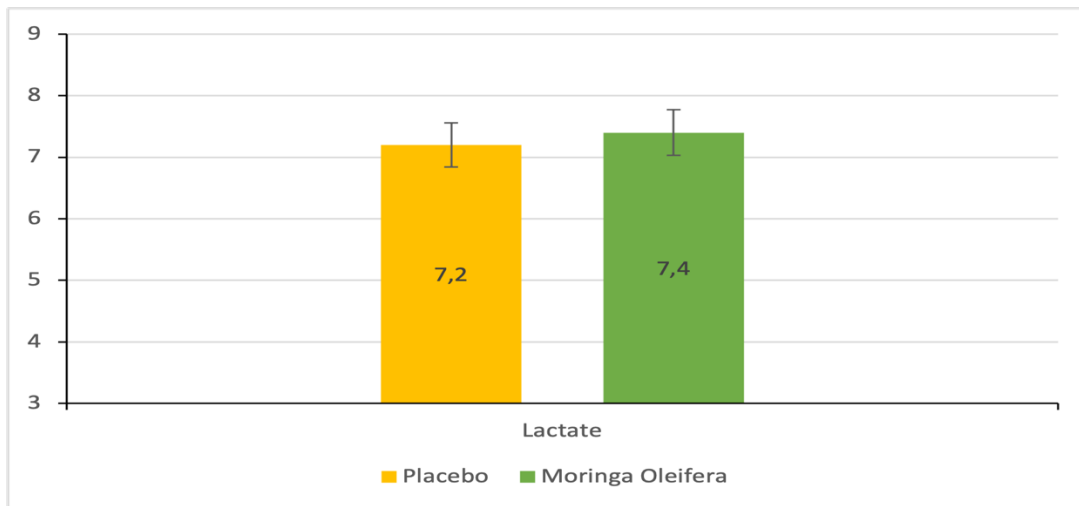


Figure 4.4 Lactate sanguin (mmol/L) avant et après consommation de l'infusion de la feuille de *Moringa Oleifera*

Les taux de lactate sanguin (figure 4.4) à la suite d'un effort en endurance ne révèlent pas de différence significative entre la prise du MO ou du placebo ($\Delta 7.2 \pm 4.2$ vs 7.4 ± 3.5 ; $p=0.635$; $d=-0.1$).

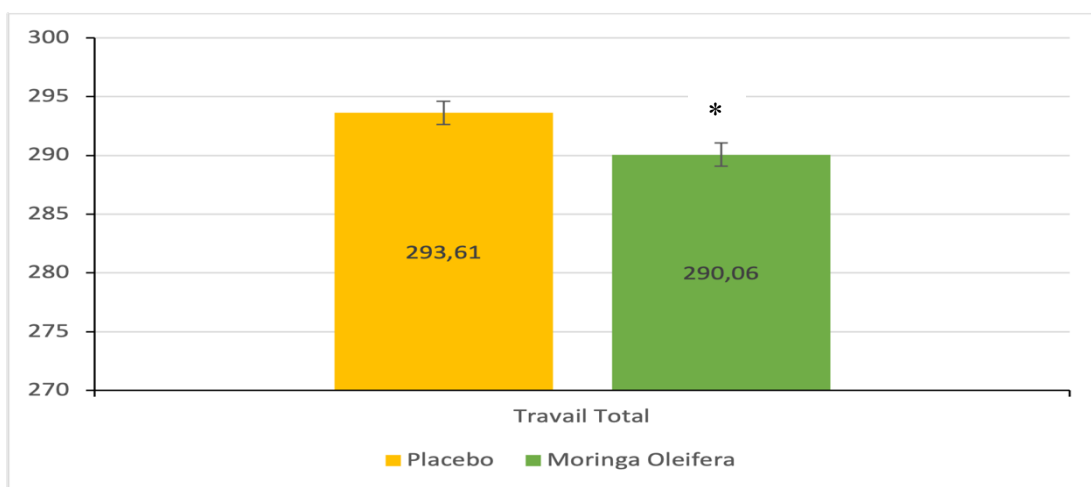


Figure 4.5 Travail Total (kJ) avant et après consommation de l'infusion de la feuille de *Moringa Oleifera*

La figure 4.5 présente le travail total avant et après consommation de l'infusion de MO. On y observe une différence significative en matière d'énergie fournie pour effectuer le test d'endurance ($\Delta 293.6 \pm 75.3$ vs 290.1 ± 77.4 ; $p=0.012$; $d=0.5$).

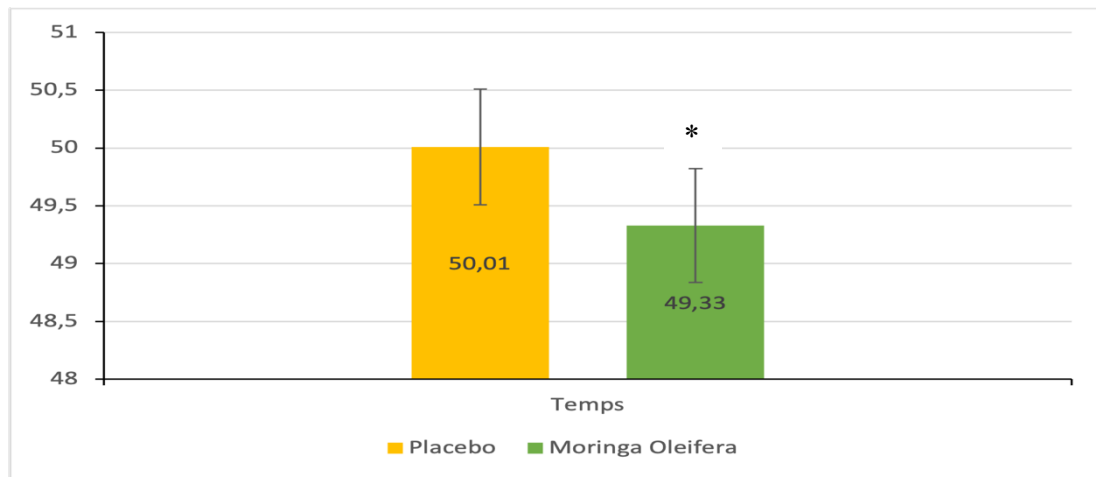


Figure 4.6 Temps de parcours (min) avant et après consommation de l'infusion de la feuille de *Moringa Oleifera*

La figure 4.6 présente le temps de parcours avant et après consommation de l'infusion de MO. On y observe une différence significative en matière de minutes nécessaires pour effectuer le test d'endurance ($\Delta 50.0 \pm 22.3$ vs 49.33 ± 21.9 ; $p=0.021$; $d=0.4$). Il semblerait donc que la consommation de MO favorise la diminution du temps nécessaire à la réalisation de l'épreuve d'endurance par rapport à la consommation du placebo.

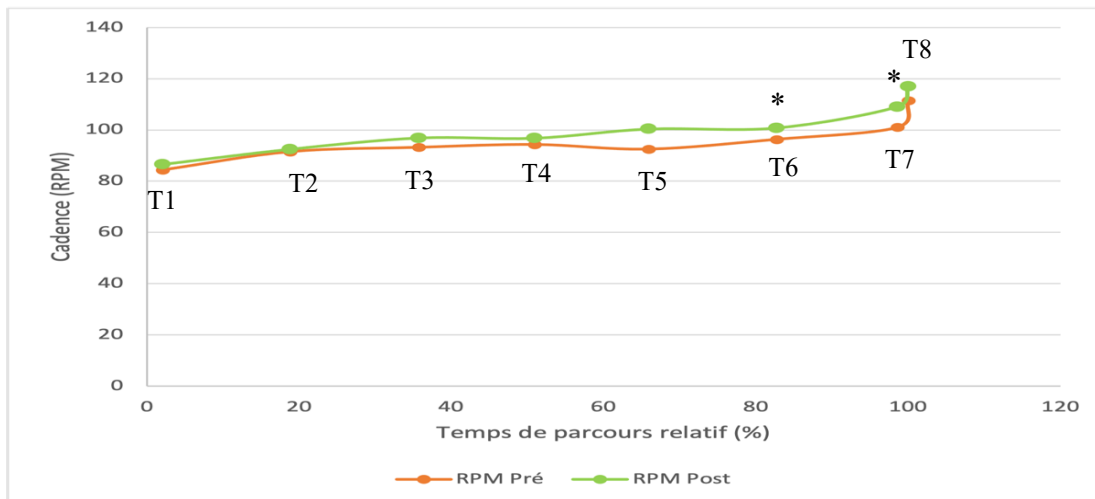


Figure 4.7 Cadence de pédalage rapportée au temps de parcours relatif avant (pré) et après (post) consommation de l'infusion de la feuille de *Moringa Oleifera*

La figure 4.7 présente la cadence de pédalage rapportée au temps de parcours relatif avant et après consommation de l'infusion de MO. Celle-ci indique que la stratégie adoptée par les participants semble pareille avant et après la consommation de MO : cadence faible au début, suivi d'une légère accélération progressive. À partir de T4, on commence à observer une petite différence au niveau des profils de la courbe, mais celle-ci est non significative. Ainsi, la différence est significative entre les 2 groupes à partir du temps T6, correspondant à environ 80% du parcours où l'on remarque une augmentation de la cadence jusqu'à la fin de l'épreuve (T7=100% pour 33 participants). Le point T8, ne correspondant qu'à un seul participant ayant mis plus de temps que les autres pour finir le test, n'a pas été testé donc on ne peut pas confirmer ou non la significativité avec et sans MO.

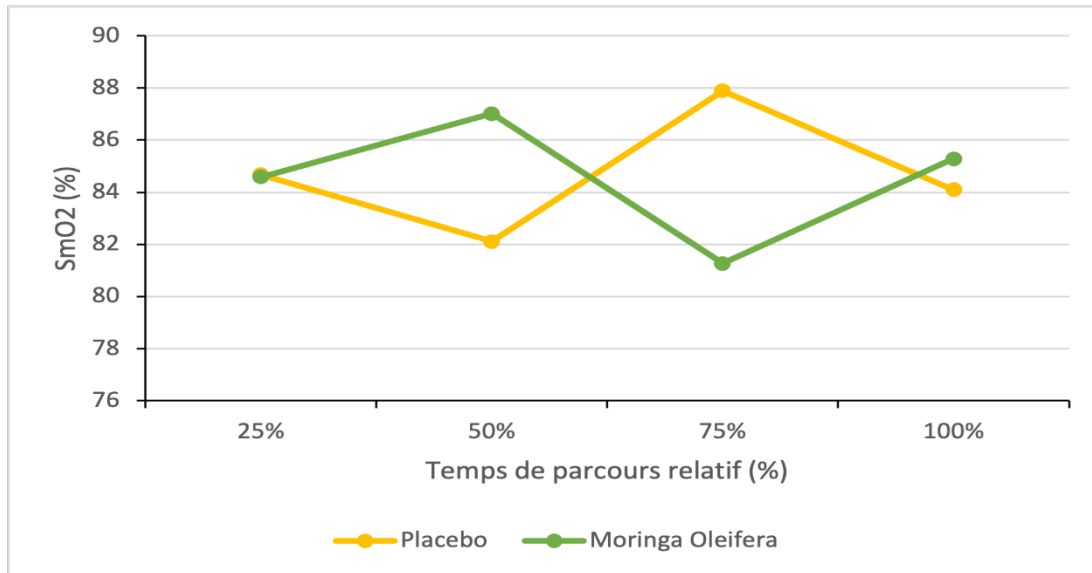


Figure 4.8 Saturation musculaire en oxygène (SmO₂) rapportée au pourcentage du temps de parcours relatif avant et après consommation de l'infusion de la feuille de *Moringa Oleifera*

La figure 4.8 présente la saturation musculaire en oxygène (SmO₂) rapportée au pourcentage de temps de parcours relatif avant et après consommation de l'infusion de MO. Plus précisément, nous avons procédé à la comparaison des valeurs à 25, 50, 75 et 100% de temps de parcours des participants, avant et après consommation de MO. Sur la figure, on observe qu'à 25% du temps de parcours, la SmO₂ est presque la même avec et sans MO. À 50 et 100%, on observe une diminution de la SmO₂ avant la consommation de MO tandis qu'elle augmente après la consommation. Cependant à 75%, la saturation musculaire en oxygène est plus élevée avant la consommation qu'après la consommation de MO.

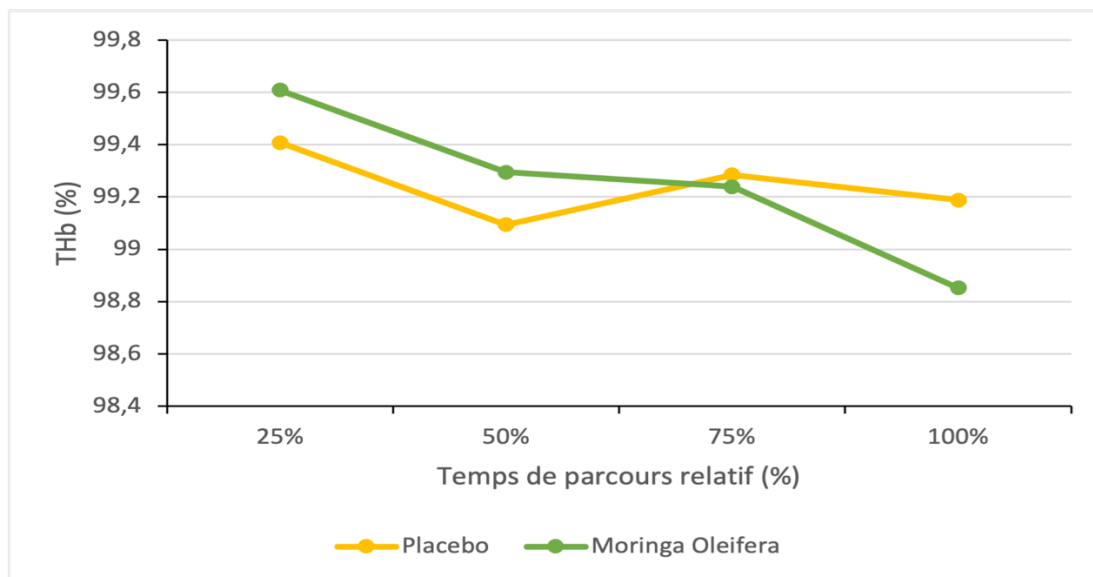


Figure 4.9 Hémoglobine totale oxygénée (THb) rapporté au pourcentage du temps de parcours relatif avant et après consommation de l'infusion de la feuille de *Moringa Oleifera*

La figure 4.9 présente le niveau d'hémoglobine totale oxygénée (THb) rapporté au pourcentage de temps de parcours relatif avant et après consommation de l'infusion de la feuille de MO. Nous avons procédé à la comparaison des valeurs à 25, 50, 75 et 100% du temps de parcours des participants, avant et après consommation de MO. Sur la figure, on observe que le THb avant la consommation de MO connaît une diminution de 25% à 50%. De 50% à 75%, il connaît une légère augmentation, puis diminue légèrement de 75% à 100%. Cependant, après la consommation de MO, on observe une chute progressive du THb à partir de 25% jusqu'à 100% du temps de parcours. Comparé l'un à l'autre, on observe qu'à 25% et 50% le THb avant consommation de MO est inférieur à celui après sa consommation. À 75% et 100%, le THb avant consommation de MO est resté supérieur à celui après sa consommation. Néanmoins, ces différences ne sont pas significatives et pratiquement ne démontrent aucun

changement de THb entre les conditions de consommation et d'absence de MO durant l'épreuve.

En comparant la figure 4.8 et la figure 4.9, on observe que pour le test effectué en absence de MO, la seule augmentation de la SmO₂ observée de 50% à 75% était accompagnée d'une augmentation de l'hémoglobine totale oxygénée dans la même période. Pareil pour toutes les fois qu'une diminution du SmO₂ a été observée, celle-ci s'accompagnait également d'une diminution du THb (25 à 50% et 75 à 100%). Cependant, en ce qui concerne le test effectué en présence de MO, on observe que malgré la diminution constante de l'hémoglobine totale oxygénée, la saturation musculaire en oxygène (Figure 4.8) a augmenté à partir de 25% jusqu'à 50% et aussi de 75 % à 100% de la réalisation de l'épreuve. Ceci montre qu'avec le MO il pourrait avoir une meilleure extraction de l'oxygène.

CHAPITRE V

DISCUSSION

L'objectif de la présente étude était de comparer la performance avant et après la consommation de MO chez des volontaires soumis à une épreuve d'endurance. Les résultats obtenus permettent de vérifier l'hypothèse selon laquelle la feuille de MO améliore la performance en endurance.



Figure 5.1 Récapitulative de l'étude et des résultats principaux

Le MO a permis aux participants d'atteindre une fréquence cardiaque maximale plus élevée durant le test d'endurance. Ce qui va dans le sens contraire de notre hypothèse. Néanmoins, cela s'expliquerait par une intensité de l'effort fourni par les participants qui serait plus élevée durant le test d'endurance. En effet, pendant l'effort physique, les résistances vasculaires périphériques totales (RVPT) diminuent suivant une vasodilatation des artérioles au niveau des muscles en activité via l'effet du système

nerveux orthosympathique [99]. Le débit cardiaque (QC), dépendant du volume d'éjection systolique (VES) et de la fréquence cardiaque (FC), augmente également à l'exercice. L'augmentation de la fréquence cardiaque à l'effort s'explique par le fait que la durée du cycle cardiaque diminue avec une durée de temps de diastole plus courte que la durée de temps de systole et donc une durée de temps de remplissage des ventricules qui est diminuée [99]. Alors, il est possible que le MO agisse comme vasodilatateur permettant de fournir un effort plus élevé et donc causant une augmentation de la fréquence cardiaque pour effectuer le même type d'épreuve de contre la montre (notre protocole décrit dans la section méthodologie). Les résultats de l'étude de Aekthammarat et coll. (2020) sur le MO qui a montré l'effet vasodilatateur de la feuille de la plante, ce qui corrobore nos observations.

Le travail total (Énergie déployer pour réaliser le test) et la performance (temps) ont été diminués de manière significative telle qu'avancée dans notre hypothèse. Ainsi, l'infusion de la feuille de MO a contribué à une diminution du travail total et du temps à la suite de sa consommation. Cela indique que la feuille de MO permettrait une hausse de l'efficacité et qu'il faudrait donc déployer moins d'énergie et de temps pour effectuer un même exercice (à savoir ici, parcourir 20km avec une charge fixe). Autrement dit, l'infusion de la feuille de MO pourrait donc jouer un rôle dans le processus de lutte contre la fatigue. La cadence de pédalage (RPM) effectuée par les participants s'est intensifiée de façon significative avec le MO. De plus, une diminution de l'énergie déployée et le temps nécessaire pour atteindre 20km sont affectés indiquant une amélioration de l'efficacité. Cet ensemble d'adaptation aiguë confirme l'hypothèse selon laquelle l'infusion de feuille de MO aurait possiblement des propriétés antifatigues directes sur les muscles squelettiques activés. La RPM a connu une hausse chez les participants après la consommation de l'infusion de MO. Scientifiquement, cela pourrait s'expliquer par le fait que l'effort fourni par les participants après consommation de l'infusion de MO était plus intense (Augmentation de la cadence de pédalage). Donc, le fait que le RPM ait augmenté, jumeler à un travail total requis

diminué indique possiblement un effet ergogène direct sur la performance musculaire. Tout ceci est corrélé par les résultats de plusieurs études qui ont montré l'effet antifatigue de la plante [10; 100; 101]. Toutefois, il n'est pas possible d'exclure que la consommation d'une infusion de feuille de MO ait un effet placebo cognitivement. Néanmoins, notre devis expérimental en croisé permet en partie de corriger l'effet placebo.

L'étude de Barodia et coll. a révélé que l'extrait des feuilles de MO a amélioré l'endurance et l'activité locomotrice chez le rat [102]. Notre étude nous permet d'affirmer un effet similaire chez l'homme, car nous avons constaté une diminution significative du temps de parcours et du travail total avec la consommation de l'infusion. Aussi semblerait-il que le MO ait eu un effet moteur favorisant l'efficacité du mouvement. Ce qui se justifie par l'augmentation significative de la cadence de pédalage après sa consommation.

En rapportant le temps de parcours relatif à la cadence (RPM), il est possible d'observer un début de divergence en matière de cadence entre les 2 traitements à partir de la moitié du temps de parcours et une divergence significative des RPM à 80 et 100% du parcours. De plus, même si la différence de cadence s'avère non significative aux temps T3 (35%) et T5 (65%), on note tout de même une différence significative et un effet de taille moyenne du MO sur la cadence en fin de parcours. Le MO semble donc favoriser l'augmentation de la cadence sur la fin de parcours d'une épreuve d'endurance contre la montre et donc l'amélioration de l'endurance.

Oxygénation musculaire

L'analyse de l'oxygénation musculaire et rapportée à la durée relative du parcours exprimée en pourcentage de temps de parcours a montré qu'en présence du MO, on observe que malgré une apparence de diminution (non significative) constante de l'hémoglobine totale, la saturation musculaire en oxygène a augmenté au début et à la

fin de l'effort. Ceci pourrait indiquer une meilleure extraction de l'oxygène par le muscle en présence de MO. Cette observation est corroborée par les travaux de Eze et coll. (2020), qui ont révélé que le MO a le potentiel d'être une aide ergogène à travers une amélioration du métabolisme énergétique dans le muscle squelettique adulte en augmentant l'expression de marqueurs métaboliques clés (PGC-1 α , PPAR γ , SDHB, SUCLG1, VEGF, PGAM-2, PGK1 et MYLPP) [9]. Cependant, une récente étude de Tsuk et coll. a montré que le MO ne permet pas d'améliorer physiologiquement l'endurance de sujets jeunes et en bonne santé [42]. Toutefois, il faut noter qu'il s'agit d'une étude pilote dans laquelle le dosage, le temps de traitement et l'échantillon étaient faibles comparativement à la méthodologie adoptée dans notre étude.

Malgré cela, la consommation de l'infusion de la feuille de MO n'a pas permis une diminution significative de la fréquence cardiaque de repos. Nous nous attendions évidemment à une réduction de la fréquence cardiaque induite par le MO, puisque les propriétés cardioprotectrices que lui confère le N, α -L-rhamnopyranosyl vincosamide (alcaloïde) extrait de ses feuilles permettent la réduction du taux de marqueurs cardiaques sériques tels que la troponine-T, la créatine kinase-MB à la suite d'une toxicité cardiaque induite par isoprotérénol [103]. De plus, il a été démontré que l'extrait aqueux des feuilles de MO pouvait lutter contre l'hypertension artérielle (diminution de la pression artérielle et de la fréquence cardiaque) chez des rats hypertendus. En effet, il provoquerait une meilleure vasodilatation en agissant directement sur l'endothélium et semble donc être un produit naturel contre l'hypertension [56]. Ceci pourrait-être dû à la présence d'arginine en forte quantité dans la poudre de la feuille de MO (160mg/100g) [21]. À ce dernier, on attribue la capacité d'améliorer la production de NO chez des rats [90].

Perception de l'effort (RPE) et Lactatémie

Le résultat de la perception de l'effort n'a pas vérifié notre hypothèse, pourtant on s'attendait à observer une diminution de celle-ci puisqu'il avait été montré dans l'étude

de Lamou et coll., que le MO avait des propriétés antifatigues lors d'un test de natation [10]. Dans notre étude, il est possible que l'augmentation de la cadence suivant la consommation de thé de MO ait agi à conserver une RPE élevée.

On s'attendait aussi à ce que la lactatémie diminue avec la consommation de MO comme observé dans l'étude de Lamou et coll. [10]. Mais, le taux de lactate sanguin à la suite de la consommation de l'infusion à base de feuilles de MO était légèrement supérieur à celui obtenu après la consommation du placebo. Ce qui pourrait s'expliquer par l'intensité de l'effort fourni par les participants après la consommation de MO.

Limites

Les limites possibles de notre étude sont de plusieurs ordres :

- le faible nombre de données recueillies pour certaines variables, précisément pour l'oxygénation musculaire et la lactatémie ;
- le suivi des participants en ce qui concerne le respect des consignes a été fait sur la base de leur honnêteté à nous informer en cas de non-respect des consignes. Peut-être que les consignes n'ont pas été suivies entièrement par les participants : oubli d'une prise ponctuelle, association avec de l'alcool, habitudes quotidiennes modifiées. Toutefois, quelques participants nous en ont informés et leurs résultats ont été retirés de l'étude.
- certains de nos participants étaient des étudiants-chercheurs déjà habitués à ce type d'étude. Cela peut être un biais puisqu'ils n'étaient pas à l'aveugle à 100% et pouvaient tenter de s'adapter selon la situation.

CONCLUSION

Cette étude indique que la prise d'une infusion de la feuille de MO sur une durée de sept (7) jours semble améliorer la performance en endurance chez des participants jeunes et actifs.

L'infusion a en effet participé à la diminution de l'énergie déployer et du temps nécessaire pour parcourir les 20km en aidant les participants à maintenir un effort supérieur. Cependant, il n'y a pas d'effet significatif sur les autres paramètres étudiés : perception de l'effort (RPE), lactatémie, l'oxygénation musculaire, fréquence cardiaque de repos et de récupération.

Face à nos observations sur le MO, il serait intéressant de mieux caractériser les mécanismes par lesquels le MO influencerait les résultats que nous avons obtenus puis d'étudier les effets potentiels que pourrait avoir ce dernier sur le muscle squelettique et son fonctionnement. Vérifier également si le MO augmente les produits qui sont considérés comme dopants, tels que l'octopamine et bien d'autres.

ANNEXE



FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

Titre du projet de recherche

Effets d'une supplémentation de la poudre des feuilles du *Moringa Oleifera* sur la performance sportive et les réponses cardiorespiratoires durant une épreuve d'endurance

Étudiant-chercheur

Dona Géraud Enock GBEDINHESSI, Sciences de l'Activité Physique (+1 514 209-2734 / cf391906@uqam.ca)

Direction de recherche

Alain Steve COMTOIS, Professeur au département des Sciences de l'Activité Physique (+1 514 987-3000 poste 1506 / comtois.alain-steve@uqam.ca)

Gawiyou Danialou, Professeur au Collège Militaire Royal de St-Jean
(Gawiyou.Danialou@cmrsj-rmcsj.ca)

David St-Pierre, Professeur au département des Sciences de l'Activité Physique (+1 514 987-3000 poste 5150 / st-pierre.david_h@uqam.ca)

Préambule

Nous vous demandons de participer à un projet de recherche qui implique la consommation d'un thé à partir d'une poudre de feuilles de Moringa Oleifera. Vous serez aussi soumis à des tests physiques. Avant d'accepter de participer à ce projet de recherche, veuillez prendre le temps de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent.

Ce formulaire de consentement vous explique le but de cette étude, les procédures, les avantages, les risques et inconvénients, de même que les personnes avec qui communiquer au besoin.

Le présent formulaire de consentement peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles.

Description du projet et de ses objectifs

L'objectif général de cette étude est de mesurer l'effet de la feuille du *Moringa Oleifera* sur la performance physique durant un test d'endurance contrôlé en laboratoire. Plusieurs mesures seront acquises qui incluent la fréquence cardiaque, le VO₂max, l'oxygénation local du muscle quadriceps, la perception de l'effort (RPE), le lactate sanguin et la performance (temps d'endurance à un effort physique soutenu). Le projet aura une durée de 30 jours avec un total de 40 participants. Afin d'être retenu pour l'étude comme participant, vous devez être un habitué des sports d'endurance (vélo, course à pied, natation, etc.).

Nature et durée de votre participation

La nature de votre participation comprend trois visites espacées de 7 jours de 75 minutes chacune au laboratoire de l'UQAM (Pavillon Sciences Biologiques, métro Place des Arts). Donc, une durée totale de votre implication de 14 journées et de 3½ heures au maximum. La première visite (jour 1) a pour objectif de mesurer votre capacité cardiovasculaire maximale (test de VO₂max) où la durée de l'effort est au maximum 25 min. L'objectif premier de ce test (voir l'image) est d'obtenir le VO₂max à l'aide d'un test progressif jusqu'à épuisement sur un vélo stationnaire couplé à un système d'analyse de l'air expiré (chariot métabolique). À cet effet, vous aurez à porter un masque sur votre figure qui couvre la bouche et le nez afin de recueillir l'air expiré qui sera analysé par le chariot métabolique. Le test se déroulera de la manière suivante et décrite par nous dans la littérature scientifique (Lalonde et coll., 2020). Le test débutera avec un échauffement de cinq minutes avec une cadence de pédalage entre 60-90 rpm, ou selon votre préférence, à une résistance (effort requis) de 25 watts. Il est fort possible que vous ressentiez très peu de résistance à pédaler. Cette résistance sera maintenue pendant deux minutes et ensuite sera augmentée à 50 watts pour les trois

minutes suivantes. À la fin de la période d'échauffement de 5 minutes, la résistance sera par la suite augmentée de 25 watts par minute jusqu'à épuisement. Le test s'arrêtera lorsque vous ne serez plus capable de maintenir la cadence de pédalage et que celle-ci chutera en dessous de 40 rpm. Trois minutes après la fin du test, une gouttelette de sang sera prélevée pour analyse du lactate sanguin. De plus, d'autres signes seront surveillés par les expérimentateurs qui pourront mettre fin à l'épreuve. Il est très important aussi de retenir que vous pouvez mettre fin à l'épreuve à n'importe quel moment du test.



À la fin du test de $VO_2\text{max}$ et avant votre départ, vous recevrez 14 contenants identifiés par une lettre (A ou B). Vous aurez à consommer ce breuvage le lendemain de votre test $VO_2\text{max}$ une fois le matin (au petit déjeuner) et une fois le soir (après votre souper) chaque jour pendant 7 jours (traitement 1). Le lendemain du 7^e jour du traitement 1, vous aurez à vous présenter au laboratoire pour le test d'endurance d'une durée de plus ou moins 40 minutes. Cette épreuve d'endurance débutera avec une période d'échauffement où vous aurez à pédaler à une cadence confortable comprise entre 60

et 120 RPM pendant 3 minutes avec une résistance (effort requis) de 50 watts. À la fin de l'échauffement, la résistance sera augmentée au niveau correspondant à votre seuil ventilatoire 1 (SV1) et vous serez invités à effectuer une course contre la montre de 20 km le plus rapidement possible. Trois minutes après la fin de l'épreuve, une gouttelette de sang sera prélevée pour analyse du lactate sanguin. Aussi, à la fin de cette épreuve et avant votre départ vous recevrez à nouveau 14 contenants identifiés par une lettre (A ou B) et qui représentent le breuvage alternatif à celui que vous avez consommé durant votre traitement 1. Vous aurez à consommer ce breuvage, comme pour le traitement 1, une fois le matin et une fois le soir chaque jour pendant 7 jours (traitement 2). Le lendemain du 7^e jour du traitement 2, vous aurez à vous présenter à nouveau au laboratoire pour réaliser le 2^e test d'endurance. Trois minutes après la fin de l'épreuve, une gouttelette de sang sera prélevée à nouveau pour analyse du lactate sanguin. Aussi, à la fin de ce 2^e test d'endurance, vous serez remercié pour votre participation à l'étude.

Avantages liés à la participation

Votre participation contribuera à mettre la lumière sur comment une supplémentation à base de feuille de *Moringa Oleifera* pourrait améliorer la performance physique. Elle permettra, notamment, à des sportifs ou personnes pratiquant l'activité physique de pouvoir bénéficier des biens faits de cette partie de la plante et par le fait même, d'améliorer leur condition physique. Vous aurez aussi des informations sur votre forme physique, notamment votre capacité aérobie maximale (VO₂max) et la fréquence cardiaque atteinte à votre seuil ventilatoire 1, un paramètre d'importance pour l'entraînement.

Risques liés à la participation

Concernant les risques associés au projet, il est possible que vous ressentiez un léger inconfort lors de la prise du produit expérimental surtout en lien avec le goût et aussi

pendant la réalisation du test de $VO_2\text{max}$. Une fatigue et une douleur pourraient être ressenties lors du test d'endurance sur vélo stationnaire. Il est aussi possible que vous ressentiez des courbatures après le test d'endurance similaire à ce que vous avez l'habitude de ressentir lors de vos sorties ou entraînements. Ce type de douleur ne représente pas habituellement de risque pour la santé et est tout simplement un indicateur d'effort musculaire hors de l'habitude. Il est aussi possible que vous ressentiez de la douleur à l'extrémité du doigt à la suite de la collecte d'une gouttelette de sang pour l'analyse de lactate. C'est un inconfort semblable à celle ressentie par les personnes atteintes de diabète lors de leur contrôle de glycémie à l'aide d'une gouttelette de sang analysé par un glucomètre.

De plus, le port de la ceinture élastique sur la poitrine pour mesurer la fréquence cardiaque lors des tests peut exercer une légère pression que certaines personnes peuvent trouver désagréable. Enfin, chez certaines personnes, les autocollants, notamment ceux pour retenir l'appareil d'oxygénation musculaire (NIRS), peuvent causer une légère irritation de la peau. Cette irritation est passagère et sans risque pour la santé de votre peau.

Confidentialité

Il est entendu que tous les renseignements recueillis dans le cadre de ce projet sont confidentiels. Seuls les chercheurs de l'UQAM qui sont associés à ce projet pourront voir le résultat de vos différents tests. Les données de recherche seront conservées sur un ordinateur et une clé USB protégés par mot de passe. Votre formulaire d'information et de consentement et vos résultats aux tests seront gardés dans un classeur verrouillé situé dans un bureau sous clé à l'UQAM. Toutes les informations (format papier, numérique, consentement, résultats aux tests) seront détruites 4 ans après la dernière publication scientifique avec revue par les pairs. Avec votre autorisation, une photo et vidéo durant une certaine session seront prises de vous et pourront être utilisées à des fins de présentation académique (cours à l'université ou

autre formation) et durant des congrès scientifiques. Votre anonymat sera assuré et il ne sera pas possible de vous identifier à partir de la photo.

Utilisation secondaire des données

Les données que nous allons recueillies pourront faire l'objet d'études secondaires dans l'avenir. Ces projets de recherche seront évalués et approuvés par un Comité d'éthique de la recherche de l'UQAM avant leur réalisation. Les données de recherche seront conservées de façon sécuritaire. Afin de préserver votre identité et la confidentialité des données de recherche, vous ne serez identifié que par un numéro de code.

Acceptez-vous que les données de recherche soient utilisées dans le futur par d'autres chercheurs à ces conditions ?

Oui Non

Participation volontaire et retrait

Votre participation est entièrement libre et volontaire. Vous pouvez refuser d'y participer ou vous retirer en tout temps sans devoir justifier votre décision. Si vous décidez de vous retirer de l'étude, vous n'avez qu'à aviser Dona G. E. GBEDINHESSI verbalement et ceci avant, pendant ou après l'étude ; toutes les données vous concernant seront détruites.

Indemnité compensatoire

Aucune compensation financière n'est prévue pour votre participation au projet. Cependant, si vous le souhaitez, nous vous remettrons un rapport détaillé de votre VO₂max.

Des questions sur le projet ?

Pour toute question additionnelle sur le projet et sur votre participation, vous pouvez communiquer avec les responsables du projet : Alain Steve COMTOIS (+1 514 987-3000 poste 1506 / comtois.alain-steve@uqam.ca) ; Dona Géraud Enock GBEDINHESSI (+1 514 209-2734 / cf391906@uqam.ca).

Des questions sur vos droits ?

Le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPE) a approuvé le projet de recherche auquel vous allez participer. Pour des informations concernant les responsabilités de l'équipe de recherche au plan de l'éthique de la recherche avec des êtres humains ou pour formuler une plainte, vous pouvez contacter la coordination du CERPE : cerpe-pluri@uqam.ca.

Remerciements

Votre collaboration est essentielle à la réalisation de notre projet et l'équipe de recherche tient à vous en remercier.

Consentement

Je soussigné accepte que des photos ou vidéo durant mes épreuves en laboratoire soient prises à des fins d'éducation dans les cours et pour présentation à des congrès scientifiques. SVP, cochez votre réponse :

Oui, j'accepte que des photos et vidéos soient prises. Non, je n'accepte pas que des photos et vidéos soient prises.

Je soussigné accepte volontairement de participer à cette étude. Je peux me retirer en tout temps sans préjudice d'aucune sorte. Je certifie qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre ma décision.

Une copie signée de ce formulaire d'information et de consentement doit m'être remise.

Prénom Nom

Signature

Date

Engagement du chercheur

Je, soussigné(e) certifie

- (a) avoir expliqué au signataire les termes du présent formulaire ;
- (b) avoir répondu aux questions qu'il m'a posées à cet égard ;
- (c) lui avoir clairement indiqué qu'il reste, à tout moment, libre de mettre un terme à sa participation au projet de recherche décrit ci-dessus ;
- (d) que je lui remettrai une copie signée et datée du présent formulaire.

Prénom Nom

Signature

Date

BIBLIOGRAPHIE

1. R. W. Bielinski (2006). Magnésium et activité physique. *Rev Med Suisse* ; 2 : 1783-6.
2. T. T. Nkukwana, V. Muchenje, P. J. Masika, L. C. Hoffman, K. Dzama et al., (2014). Fatty acid composition and oxidative stability of breast meat from broiler chickens supplemented with Moringa oleifera leaf meal over a period of refrigeration. *Food Chemistry*; 142:255-261.
3. A. Bukar, A. Uba, T. Oyeyi (2010). Antimicrobial profile of Moringa Oleifera Lam. extracts against some food-borne microorganisms. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*; 3:43-48.
4. B. Moyo, S. Oyedemi, P.J. Masika, V. Muchenje (2012). Polyphenolic content and antioxidant properties of Moringa oleifera leaf extracts and enzymatic activity of liver from goats supplemented with Moringa oleifera leaves/sunflower seed cake. *Meat Science* 91: 441–447.
5. Coppée, G. (1946). "Le Rôle des Ions Calcium Dans la Transmission Neuro-Musculaire." *Archives Internationales de Physiologie* 54(3): 323-336.
6. Lindinger, M. I., & Sjøgaard, G. (1991). Potassium regulation during exercise and recovery. *Sports medicine*, 11, 382-401.
7. Bigard, A. X. (1996). Apport en protéines et masse musculaire. *Science & sports*, 11(4), 195-204.
8. Ghedira, K. (2005). Les flavonoïdes: structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytothérapie*, 3(4), 162-169.
9. S. M. Eze, C. N. Mowa, D. Wanders, J. A. Doyle, B. J. Wong, and J. S. Otis (2020). Moringa oleifera Improves Skeletal Muscle Metabolism and Running

- Performance in Mice. Dissertation, Georgia State University. https://scholarworks.gsu.edu/kin_health_diss/29.
10. B. Lamou, G. S. Taiwe, A. Hamadou, Abene, J. Houlray et al., (2016). Antioxidant and Antifatigue Properties of the Aqueous Extract of *Moringa oleifera* in Rats Subjected to Forced Swimming Endurance Test. Hindawi Publishing Corporation, 9 pages.
 11. S. Gopi, J. Jacob, K. Varma, A. Amalraj, T. R. Sreeraj et al. (2017). Natural sports supplement formulation for physical endurance: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Sport sci health* 13:183–194.
 12. A. K. Ghosh, (2004). Anaerobic threshold: its concept and role in endurance sport. *Malaysian Journal of Medical Sciences*, 24-36.
 13. P.O. Astrand, B. Saltin (1961). Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J. Appl. Physiol.* 16: 977-981.
 14. C. K. Ramonatxo, C. Préfaut (2007). Préparation physique et appareil respiratoire. https://www.researchgate.net/publication/260727295_Preparation_physique_et_appareil_respiratoire. 14
 15. Mastouri, M. (2016). Détection du premier seuil ventilatoire par un outil portable. Mémoire, Université de Lorraine. http://docnum.univ-lorraine.fr/public/BUS_M_2016_MASTOURI_MAJDI.pdf.
 16. K. Levers, R. Dalton, E. Galvan, A. O'Connor, et al., (2016), Effects of powdered Montmorency tart cherry supplementation on acute endurance exercise performance in aerobically trained individuals, *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 13:22.
 17. K. Levers, R. Dalton, E. Galvan, C. Goodenough et al., (2015), Effects of powdered Montmorency tart cherry supplementation on an acute bout of intense lower body strength exercise in resistance trained males, *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 12:41.

18. V. Lun, K. A. Erdman, T. S. Fung, R. A. Reimer (2012). Dietary supplementation practices in canadian high-performance athletes. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*; 22:31-37.
19. Sikiric P, Rotkvic I, Mise S, Krizanac S, Gjuris V, Jukic J, Suchanek E, Petek M, Udovicic I, Kalogjera L (1988). The influence of dopamine agonists and antagonists on indomethacin lesions in stomach and small intestine in rats. *Eur J Pharmacol* 158(1-2):61-67.
20. Krimer LS, Muly EC, Williams GV, Goldman-Rakic PS (1998). Dopaminergic regulation of cerebral cortical microcirculation. *Nat Neurosci* 1(4):286-289.
21. Malo, T., 2014. Effet de la fertilisation sur la croissance et la production de *Moringa oleifera* local et *Moringa oleifera* PKM-1 dans la Région des Cascades (Burkina Faso). Mémoire de fin de cycle Institut du Developpemet Rural Université Polytechnique de Bobo –Dioulasso.
22. Deslandes A, Moraes H, Ferreira C, Veiga H, Silveira H, Mouta R, Pompeu FA, Coutinho ES, Laks J (2009). Exercise and mental health: many reasons to move. *Neuropsychobiology* 59(4):191- 198
23. A. Bhattacharya, M. R. Naik, D. Agrawal, P. K. Sahu et al., (2014). CNS Depressant and Muscle Relaxant effect of Ethanolic Leaf Extract of *Moringa Oleifera* on Albino Rats. *PharmTech Res.* 6(5), pp 1441-1449.
24. R. Diagne, (2007). Valeur nutritionnelle du *Moringa oleifera*, étude de la biodisponibilité du fer, effet de l'enrichissement de divers plats traditionnels sénégalais avec la poudre des feuilles. *African journal of food, agriculture, nutrition, and development*.
25. A. S. NASSURATIDINE (2008). Valorisation des feuilles de *moringa oleifera* lam en tant que produits phytothérapeutiques. Université de Mahajanga Faculté des Sciences Madagascar. Mémoire. P 12-53.
26. Y. Xu, G. Chen, M. Guo (2019). Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of the Crude Extracts of *Moringa oleifera* from Kenya and Their Correlations with Flavonoids. *Antioxidants*, 8(8), 296.

27. M. Kumbhare, T. Sivakumar (2011). Anti-Inflammatory and Analgesic Activity of Stem Bark of *Moringa Oleifera*. *Pharmacologyonline* 3: 641-650.
28. H. Millogo-Koné, B. F. Kini, Z. Yougbaré, M. B. Yaro et al., (2012). Etudes de la phytochimie et de l'activité antimicrobienne in vitro des feuilles de *Moringa oleifera* (Moringaceae). Vol. 16: *Revue CAMES – Série Pharm. Méd. Trad. Afr.*
29. R. Nur, I. P. K. Demak, S. Radhiah, M. Rusydi et al., (2020). The effect of moringa leaf extract on increasing hemoglobin and bodyweight in post-disaster pregnant women. *Enfermería Clínica*. Pages 79-82.
30. G. Duranti, M. Maldini, D. Crognale, K. Horner [2021]. *Moringa oleifera* leaf extract upregulates nrf2/ho-1 expression and ameliorates redox status in c2c12 skeletal muscle cells. *MOLECULES*, 26(16).
31. G. Debuigne (1974). *Larousse des plantes qui guérissent*, Ed. Larousse.
32. KABAHOUM, M., & LADJAL, L. (2021). État de la recherche scientifique sur les plantes médicinales et la phytothérapie en Algérie (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).
33. Organisation mondiale de la Santé., 2002. Réglementation des médicaments à base de plantes. La situation dans le monde, Genève.
34. SHENG-JI P., 2001. Ethnobotanical Approches of Traditional Medicine Studies: Some Experiences from Asia. *Pharmaceutical Biology*, 39: 74-79.
35. FARNSWORTH NR. AND SOEJARTO DD., (1991). Global importance of medicinal plants. *The conservation of medicinal plants*. V. H. a. H. S. O. Akerele, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 25-52 p.
36. A. SOFOWORA, (2010). *Plantes médicinales et médecine traditionnelle d'Afrique*. Ed. Karthala, France, 378 p. *substances végétales d'Afrique d'orient et d'occident*. Ed Edas Alger. 368p.
37. M. Wichtl (2003). Anton R. *Plantes thérapeutiques – Tradition, pratique officinale, science et thérapeutique*, 2ème édition, Ed. TEC & DOC.

38. Edzard E., 2001. The desktop guide to complementary and alternative médecine, 2ème édition, Grande-Bretagne. Mosby, 480 p.
39. Larousse (s. d.). Infusion. Dans Dictionnaire en ligne. Consulté le 07 janvier 2022 sur <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/infusion/43044>.
40. Raynaud J., 2007. Prescription et conseil en phytothérapie. Paris : Editions Tec & Doc Editions.Sabatier, Toulouse. P 379.
41. Goetz, P. (2004). Plaidoyer pour la tisane médicinale. *Phytothérapie*, 2, 8-15.
42. Tsuk, S., Engel, A., Odem, T., & Ayalon, M. (2023). Evaluation of the effects of commercial Moringa Oleifera supplement on physical fitness of young fit adults: A pilot study. *Scientific Journal of Sport and Performance*, 2(1), 44-51.
43. V. N. Platonov (1984). Théorie de méthodologie de l'entraînement sportif. Moscou. P11.
44. M. E. Olson (2002), Combining Data from DNA Sequences and Morphology for a Phylogeny of Moringaceae (Brassicales), *Systematic Botany*. 27(1):55-73.
45. S. Navie et S. Csurhes (2010). Horseradish tree: Moringa oleifera. Department of Employment, Economic Development and Innovation, Biosecurity Queensland. 22p.
46. N. Foidl, H. P. S. Makkar, K. Becker (2001). Potentiel de moringa oleifera en agriculture et dans l'industrie. Dar es Salaam, Tanzanie. 20p.
47. R. A. Maevalandy (2006). La MORINGA: Moringa oleifera. 16p.
48. Fahey, J. W. (2005). Moringa oleifera: a review of the medical evidence for its nutritional, therapeutic, and prophylactic properties. Part 1. *Trees for life Journal*, 1(5): p115. *Phytochemistry*, 47: p123-157.
49. C. Tchiégang, A. Kitikil (2004). Données ethno-nutritionnelles et caractéristiques physico-chimiques des légumes-feuilles consommés dans la savane de l'Adamaoua (Cameroun). *TROPICULTURA*, 1, (22) 11-18.
50. A. Saint Sauveur (2001). L'exploitation du Moringa dans le monde : Etat des connaissances et Défis à relever. Dar es Salaam, Tanzanie, PROPAGE, 10p.

51. A.F. Abdull Razis, M.D. Ibrahim, S.B. Kantayya (2014). Health benefits of *Moringa oleifera*. *Asian Pac. J. Cancer Prev*, 15:8571–8576.
52. Edoga, C. O., Njoku, O. O., Amadi, E. N., & Afomezie, P. I. (2013). Effect of aqueous extract of *Moringa oleifera* on serum protein of *Trypanosoma brucei*-infected rats. *Int. J. Sci. Technol*, 3, 85-87.
53. S. Ghasi, E. Nwobodo, J. O. Ofili (2000). Hypocholesterolemic effects of crude extract of leaf of *Moringa oleifera* Lam in high-fat diet fed wistar rats. *Journal of Ethnopharmacology*, Pages 21-25.
54. L. K. Mehta, R. Balaraman, A. H. Amin, P. A. Bafna, O. D. Gulati (2003). Effect of fruits of *Moringa oleifera* on the lipid profile of normal and hypercholesterolaemic rabbits. *Journal of Ethnopharmacology*, Pages 191-195.
55. C. Chitravadivu, M. Bhoopathi, V. Balakrishnan, T. Elavazhagan, S. Jayakumar (2009). Antimicrobial activity of *Laehiums* prepared by herbal venders, South India. *American-Eurasian, Journal of Scientific Research*, pp. 142–147.
56. F. Nikkon, Z. A. Saud, M. H. Rahman, M. E. Haque (2003). In vitro antimicrobial activity of the compound isolated from chloroform extract of *Moringa oleifera* Lam. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 6(22), 1888-1890.
57. R. Trapti, B. Vijay, M. Komal, P. B. Aswar, S. S. Khadbadi (2009). Comparative studies on anthelmintic activity of *Moringa oleifera* and *Vitex negundu*. *Asian Journal of Research Chemistry*, 2(2),181-182.
58. P. Siddhuraju, K. Becker (2003). Antioxidant properties of various solvent extracts of total phenolic constituents from three different agro-climatic origins of drumstick tree (*Moringa oleifera* Lam.). *J. Agric. Food Chem.*, 15: 2144-2155.
59. J. H. Doughari, M. S. Pukuma, N. De (2007). Antibacterial effects of *Balanites aegyptiaca* L. Drel. and *Moringa oleifera* Lam. on *Salmonella typhi*. *African Journal of Biotechnology*, 6 (19), 4 pp. 2212-2215.

60. F. Anwar, M. Ashraf, M. I. Bhangar (2005). Interprovenance variation in the composition of *Moringa oleifera* oilseeds from Pakistan. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, pp 45–51
61. B. Moyo, S. Oyedemi, P.J. Masika, V. Muchenje (2012). Polyphenolic content and antioxidant properties of *Moringa oleifera* leaf extracts and enzymatic activity of liver from goats supplemented with *Moringa oleifera* leaves/sunflower seed cake. *Meat Science* 91: 441–447.
62. Arti R. Verma, M. Vijayakumar, Chandra S. Mathela, Chandana V. Rao (2009). In vitro and in vivo antioxidant properties of different fractions of *Moringa oleifera* leaves. *Food and Chemical Toxicology* 47 : 2196–2201.
63. P. Chumark, P. Khunawat, Y. Sanvarinda, S. Phornchirasilp, N. P. Morales et al. (2008). The in vitro and ex vivo antioxidant properties, hypolipidaemic and antiatherosclerotic activities of water extract of *Moringa oleifera* Lam. Leaves. *Journal of Ethnopharmacology* 116: 439–446.
64. D. Jaiswal, P. K. Rai, S. Mehta, S. Chatterji, S. Shukla et al. (2013). Role of *Moringa oleifera* in regulation of diabetes-induced oxidative stress. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 426-432.
65. L. Mabrouki, I. Rjeibi, J. Taleb, L. Zourgui (2020). Cardiac Ameliorative Effect of *Moringa oleifera* Leaf Extract in High-Fat Diet-Induced Obesity in Rat Model. *BioMed Research International*. <https://doi.org/10.1155/2020/6583603>
66. Dou, Z., Chen, C., Fu, X. (2019). Bioaccessibility, antioxidant activity and modulation effect on gut microbiota of bioactive compounds from *Moringa oleifera* Lam. leaves during digestion and fermentation in vitro. *Food & function*, 10(8), 5070-5079.
67. Tian, H., Liang, Y., Liu, G., Li, Y., Deng, M., et al., (2021). *Moringa oleifera* polysaccharides regulates caecal microbiota and small intestinal metabolic profile in C57BL/6 mice. *International Journal of Biological Macromolecules*, 182, 595-611.

68. Rastmanesh R. High polyphenol, low probiotic diet for weight loss because of intestinal microbiota interaction. *Chemico-biological interactions*. 2011;189(1-2):1–8.
69. Pacheco-Ordaz R, Wall-Medrano A, Go-i MG, Ramos-Clamont-Montfort G, Ayala-Zavala JF, et al., (). Effect of phenolic compounds on the growth of selected probiotic and pathogenic bacteria. *Letters in applied microbiology* ; 66(1):25–31.
70. S. Noamesi, N. Amaglo, M. Adevu, M. Glover-Amengor, G. Dosu et al. (2010). Produire et transformer les feuilles de moringa. *Moringanews / Moringa Association of Ghana*. 36p.
71. F. W. Martin, R. M. Ruberté (1978). Survival and subsistence in the tropics. *Survival and subsistence in the tropics*. pp.243
72. A. B. Sallau, S. B. Mada, S. Ibrahim, U. Ibrahim (2012). Effect of Boiling, Simmering and Blanching on the Antinutritional Content of Moringa oleifera Leaves. *International Journal of Food Nutrition and Safety*, 2(1): 1-6.
73. F. W. Martin, R. M. Ruberté (1975). Edible leaves of the tropics. *Edible leaves of the tropics*. pp.235.
74. Doseděl M, Jirkovský E, Macáková K, Krčmová LK, Javorská L, et al., (2021). Vitamin C-Sources, Physiological Role, Kinetics, Deficiency, Use, Toxicity, and Determination. *Nutrients* ;13(2):615.
75. Vannucci L, Fossi C, Quattrini S, Guasti L, Pampaloni B, et al., (2018). Calcium Intake in Bone Health: A Focus on Calcium-Rich Mineral Waters. *Nutrients* ;10(12):1930.
76. C. Beaumont (2004). Mécanismes moléculaires de l'homéostasie du fer. *M/S : médecine sciences*, 20(1), 68–72.
77. Tomé, D. (2008). Besoins en protéines et en acides aminés & qualité des protéines alimentaires. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 48(177).
78. J. Pallavi, M. Dipika (2010). Effect of dehydration on the nutritive value of drumstick leaves. *Journal of Metabolomics and Systems Biology*, 1(1): 5 -9.

79. Fuglie L. J., 2005. THE MORINGA TREE: A local solution to malnutrition? Dakar, Sénégal. 36p.
80. S. A. Umar, Z. Mohammed, A. Nuhu, K. Y. Musa, Y. Tanko (2018). Evaluation of Hypoglycaemic and Antioxidant Activity of *Moringa oleifera* Root in Normal and Alloxan-Induced Diabetic Rats. Trop J Nat Prod Res ; 2(8):401-408.
81. D. Jaiswal, P. K. Rai, S. Mehta, S. Chatterji, S. Shukla et al. (2013). Role of *Moringa oleifera* in regulation of diabetes-induced oxidative stress. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine, 426-432
82. Paikra, B.D., HKJ; Gidwani, B. (2017), Phytochemistry and Pharmacology of *Moringa oleifera* Lam. Journal of Pharmacopuncture, 20(3): p. 194-200. 82
83. Crozier A, Burns J, Aziz AA, Stewart AJ, Rabiasz HS, Jenkins GI, Edwards CA, Lean ME (2000). Antioxidant flavonols from fruits, vegetables, and beverages: measurements and bioavailability. Biol Res. 33(2):79-88. 83
84. Boots, A. W., Drent, M., de Boer, V. C., Bast, A., & Haenen, G. R. (2011). Quercetin reduces markers of oxidative stress and inflammation in sarcoidosis. *Clinical Nutrition*, 30(4), 506-512. 84
85. Davis, J. M., Murphy, E. A., Carmichael, M. D., & Davis, B. (2009). Quercetin increases brain and muscle mitochondrial biogenesis and exercise tolerance. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 296(4), R1071-R1077.
86. Mabrouki, L., Rjeibi, I., Taleb, J., & Zourgui, L. (2020). Cardiac ameliorative effect of *Moringa oleifera* leaf extract in high-fat diet-induced obesity in rat model. *BioMed research international*, 2020. 86
87. H. S. Hamed, Y. S. El-Sayed, (2018). Antioxidant activities of *Moringa oleifera* leaf extract against pendimethalin-induced oxidative stress and genotoxicity in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Fish Physiol Biochem*, 45:71–82. 87
88. M. M. Soliman, A. Aldhahrani, A. Alkhedaide, M. A. Nassan, F. Althobaiti, W. A. Mohamed (2020). The ameliorative impacts of *Moringa oleifera* leaf extract

- against oxidative stress and methotrexate-induced hepato-renal dysfunction. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 128, 110259. 88
89. D. Aekthammarat, P. Tangsucharit, P. Pannangpetch, T. Sriwantana, N. Sibmooch (2020). Moringa oleifera leaf extract enhances endothelial nitric oxide production leading to relaxation of resistance artery and lowering of arterial blood pressure. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 130, 110605.
90. Dudley R. W. R., Comtois A. S., St-Pierre D. H., Danialou G. (2021). Early administration of L-arginine in mdx neonatal mice delays the onset of muscular dystrophy in tibialis anterior (TA) muscle. *FASEB BioAdvances*. 2021; 3:639–651.
91. Best, R.; Crosby, S.; Berger, N.; McDonald, K. (2021). The Effect of Isolated and Combined Application of Menthol and Carbohydrate Mouth Rinses on 40 km Time Trial Performance, Physiological and Perceptual Measures in the Heat. *Nutrients*, 13, 4309. <https://doi.org/10.3390/nu13124309>.
92. Olson H, Betton G, Robinson D, Thomas K, Monro A et al., (2000). Concordance of Toxicity of Pharmaceuticals in Humans and in Animals. *Regul Toxicol Pharmacol*; 32:56-67.
93. Loomis TA, Hayes AW. *Loomis Essentials of Toxicology*. (4th ed.). California, U.S.A: Academic Press; 1996. 208-245 p.
94. Lalonde, F., Martin, S. M., Boucher, V. G., Gosselin, M., Roch, M., & Comtois, A. S. (2020). Preparation for an half-ironmantm triathlon amongst amateur athletes: Finishing rate and physiological adaptation. *International Journal of Exercise Science*, 13(6), 766.
95. Beltz NM, Gibson AL, Janot JM, Kravitz L, Mermier CM, Dalleck LC (2016). Graded Exercise Testing Protocols for the Determination of VO₂max: Historical Perspectives, Progress, and Future Considerations. *J Sports Med (Hindawi Publ Corp)* 2016: 3968393.

96. Dolezal BA, Storer TW, Neufeld EV, Smooke S, Tseng CH, Cooper CB (2017). A Systematic Method to Detect the Metabolic Threshold from Gas Exchange during Incremental Exercise. *J Sports Sci Med* 16: 396-406.
97. Borg, G. Borg's Perceived Exertion and Pain Scales; Human Kinetics: Champaign, IL, USA, 1998.
98. Page CL. *Physiologie de l'exercice physique, entraînement et santé*. Editions Ellipses; 2023. 377 p.
99. Bian X., Wang Y., Yang R., Ma Y., Dong W., Guo C., Gao W. (2023). Antifatigue properties of the ethanol extract of *Moringa oleifera* leaves in mice. *J Sci Food Agric* ;103(11):5500-5510.
100. Gao WN, Bian XY, Xu QG, et al. (2022). Antifatigue effects of the composition of *Moringa oleifera* leaves and *Polygonatum polysaccharide* and its mechanisms. *Chinese Journal of Applied Physiology*; 38(4):308-312.
101. Gao WN, Bian XY, Xu QG, et al. (2022). Antifatigue effects of the composition of *Moringa oleifera* leaves and *Polygonatum polysaccharide* and its mechanisms. *Chinese Journal of Applied Physiology*; 38(4):308-312.
102. Barodia K., Cheruku S. P., Kanwal A., Menon A., Rajeevan R., et al. (2022). Effect of *Moringa oleifera* leaf extract on exercise and dexamethasone-induced functional impairment in skeletal muscles. *J Ayurveda Integr Med*. 13(1):100503.
103. Panda S., Kar A., Sharma P., Sharma A. (2013). Cardioprotective potential of N, α -L-rhamnopyranosyl vincosamide, an indole alkaloid, isolated from the leaves of *Moringa oleifera* in isoproterenol induced cardiotoxic rats: In vivo and in vitro studies. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters* 23, 959–962.