



Avertissement

Ce document est le fruit d'un long travail et a été validé par l'auteur et son directeur de mémoire en vue de l'obtention de l'UE 28, Unité d'Enseignement intégrée à la formation initiale de masseur kinésithérapeute.

L'IFMK de Nancy n'est pas garant du contenu de ce mémoire mais le met à disposition de la communauté scientifique élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : secretariat@kine-nancy.eu

Liens utiles

Code de la Propriété Intellectuelle. Articles L 122. 4.

Code de la Propriété Intellectuelle. Articles L 335.2- L 335.10.

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F23431>

MINISTERE DE LA SANTE
REGION GRAND EST
INSTITUT LORRAIN DE FORMATION EN MASSO-KINESITHERAPIE DE NANCY

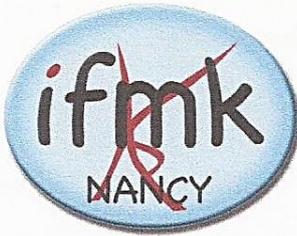
LES DOMS ET LA PLIOMETRIE AQUATIQUE

REVUE DE LA LITTERATURE

**Sous la direction de
Vincent FERRING**

Mémoire présenté par **Yves HALLER**,
étudiant en 4^{ème} année de masso-kinésithérapie,
en vue de valider l'UE 28
dans le cadre de la formation initiale du
Diplôme d'Etat de Masseur-Kinésithérapeute

Promotion 2016-2020.



UE 28 - MÉMOIRE
DÉCLARATION SUR L'HONNEUR CONTRE LE PLAGIAT

Je soussigné(e), ...HALLER...Yves.....

Certifie qu'il s'agit d'un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Je certifie, de surcroît, que je n'ai ni recopié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément leur origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets.

Conformément à la loi, le non-respect de ces dispositions me rend passible de poursuites devant le conseil de discipline de l'ILFMK et les tribunaux de la République Française.

Fait à NANCY....., le 21 avril 2020

Signature

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier :

- ❖ La direction, le personnel administratif et le responsable d'entretien de l'IFMK de Nancy.
- ❖ Toute l'équipe pédagogique, en particulier mon directeur de mémoire, V. Ferring et mon référent, JP. Cordier pour leur aide et leur accompagnement tout au long de ce travail.
- ❖ Mes amis au sein de l'école pour leur présence tout au long de ces quatre années ainsi que mes amis hors école pour leur soutien durant tout mon cursus.
- ❖ Ma famille pour leur présence, leur soutien moral et financier au cours de ce long cursus scolaire.
- ❖ Les personnes qui ne sont plus parmi nous mais auxquelles je pense très souvent.

Les DOMS et la pliométrie aquatique : revue de la littérature

Introduction : La pliométrie est une méthode de renforcement musculaire utilisée dans le sport et dans la rééducation. Cette technique permet un gain de performance cependant elle peut être source de traumatismes et de blessures. Les DOMS sont aussi une des conséquences d'un travail pliométrique et peuvent altérer la rééducation ou la performance sportive. Le travail dans l'eau a tendance à se développer et s'intègre de plus en plus dans le domaine sportif et dans la rééducation. Nous tenterons de déterminer l'intérêt d'un entraînement pliométrique dans l'eau en termes de prophylaxie des DOMS.

Matériel et Méthode : Nous avons réalisé une recherche d'articles dans la littérature jusqu'au mois d'avril 2020 sur les bases de données Cochrane, Medline, PeDro et Base. Nous avons inclus des études randomisées avec des sujets sains, qui comparent un entraînement de pliométrie dans l'eau à un entraînement pliométrique au sol et qui comprennent comme critère primaire la mesure de DOMS. Nous avons pour objectif d'évaluer les différences d'apparition de DOMS entre ces deux méthodes d'entraînement. Nous avons analysé les articles retenus en leur attribuant un grade et en déterminant des biais d'étude selon la grille Cochrane Collaboration, afin de confronter leurs résultats.

Résultats : L'analyse des 5 articles a permis de mettre en évidence une augmentation moins importante des DOMS pendant un entraînement de pliométrie dans l'eau comparée à de la pliométrie au sol. Les résultats obtenus ne sont pas tous significatifs. Les analyses sanguines, les échelles de la douleur et l'algomètre de pression sont utilisés comme outils de mesure dans ces études.

Conclusion : L'exercice pliométrique dans l'eau provoque moins de DOMS que l'exercice pliométrique au sol. La pliométrie aquatique semble être une technique très intéressante pour le domaine sportif et dans la rééducation au même titre que celle au sol.

Mots clés : DOMS ; Kinésithérapie ; Pliométrie aquatique

DOMS and aquatic plyometrics : literature review

Introduction : Plyometrics is a muscle strengthening method used in sports and in rehabilitation. This technique allows a performance gain however it can be a source of trauma and injuries. DOMS is one of the consequences of plyometric's work and can affect rehabilitation or sports performance. The work in the water becomes more and more common and is integrated in the sporting field and in the rehabilitation. We will try to determine the interest of a plyometric training in water in terms of prophylaxis of DOMS.

Material and Method : We have researched for articles in the literature until April 2020 on the Cochrane, Medline, PeDro and Base databases. We have included, randomized studies with healthy subjects, which compare plyometric training in water to plyometric training on the ground and which include as a primary criterion the measurement of DOMS. Our goal was to assess the differences in the emergence of DOMS between these two training methods. We analyzed the selected articles by assigning them a grade and determining study biases according to the Cochrane Collaboration grid, in order to compare their results.

Results : Analysis of the 5 articles made it possible to highlight a less significant increase in DOMS during plyometric training in water compared to plyometric on the ground. The results obtained are not all significant. Blood tests, pain scales and an algometer are used as measurement tools in the studies.

Conclusion : Plyometric exercise in water causes less DOMS than plyometric exercise on ground. Aquatic plyometrics seems to be a very interesting technique for the sports field and in rehabilitation as well as that on the ground.

Keys words : DOMS ; Physiotherapy ; Aquatic plyometric

Table des matières

1. INTRODUCTION	1
1.1. Problématique et question de recherche	1
1.2. La pliométrie	3
1.3. Les DOMS	5
1.4. Les marqueurs biologiques	7
1.5. Les propriétés de l'eau	8
1.6. Hypothèse de recherche	10
2. MATERIELS ET METHODES	11
2.1. Stratégie de recherche documentaire	11
2.2. Méthode	12
3. RESULTATS	14
3.1. Les recherches	14
3.2. Les études	15
3.3. La population	16
3.4. Les outils de mesure	16
3.5. Les programmes d'entraînement	19
3.6. Les résultats des études	20
3.6.1. Les analyses sanguines	20
3.6.2. L'échelle ordinale d'auto-évaluation et l'algomètre	22
3.6.3. L'échelle visuelle analogique	22
3.7. Zoom sur les résultats	23
3.7.1. Les études avec analyses sanguines	23
3.7.1.1. Créatine Kinase	23
3.7.1.2. Lactate déshydrogénase	24
3.7.1.3. Urée	24
3.7.2. Les échelles de douleurs et l'algomètre	24
3.7.3. Lien avec la performance	26

4. DISCUSSION	28
4.1. Interprétation des résultats	28
4.1.1. La population	28
4.1.2. Les conditions d'entraînement	28
4.1.3. Intensité d'entraînement et protocole	30
4.1.4. La performance	32
4.2. Détermination des biais et des limites	32
4.2.1. Biais de sélection	33
4.2.2. Biais d'attribution	33
4.2.3. Biais de performance	34
4.2.4. Biais de détection	34
4.2.5. Biais de migration	34
4.2.6. Biais de notification	35
4.2.7. Autres biais	35
4.3. Limites de notre revue	36
4.4. Les DOMS	37
4.5. Intérêt pour la pratique de la profession	39
5. CONCLUSION	41
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXES	

Liste d'abréviations

- APT** : Aquatic Plyometric Training
- CK** : Créatine Kinase
- CMJ** : Countermovement Jump
- CMJB** : Countermovement Jump avec Bras
- DJ** : Drops Jump
- DOMS** : Delayed Onset Muscle Soreness
- EMG** : Electromyogramme
- GC** : Groupe Contrôle
- HAS** : Haute Autorité de Santé
- LDH** : Lactate Déshydrogénase
- PT** : Plyometric Training
- RJ** : Repeat vertical Jump
- SSC** : Stretch-Shortening Cycle
- SJ** : Squat Jump

1. INTRODUCTION

1.1. Problématique et question de recherche

Dans le domaine sportif, l'un des objectifs principaux est la recherche de la performance, par le travail de paramètres tels la vitesse, la force, l'endurance ou encore l'explosivité. C'est pour cela que les préparateurs physiques dans le cadre d'un cycle ou d'un entraînement mettent en place des protocoles de travail permettant aux sportifs d'être le plus performant possible. Il existe différentes méthodes de travail, l'une d'entre elle est la pliométrie (1).

La pliométrie est caractérisée par une contraction importante du muscle pendant une courte période. Elle comprend une contraction excentrique rapide, une phase d'amortissement et une contraction concentrique (2). Cette méthode de renforcement permet le développement de la force, de la puissance, de l'explosivité, de la proprioception et de l'agilité (3,4). Il a été démontré qu'un exercice de pliométrie tel le drop jump augmente la force de l'ordre de 150% à 200% contrairement à un exercice isométrique qui développe 100% de la force (2). Néanmoins ce type de renforcement peut être source de DOMS et de blessures musculaires (5,6).

Le masseur-kinésithérapeute est également impliqué dans la recherche de la performance. Lors de sa prise en charge, il utilise des méthodes classiques ou recherche des alternatives car celles-ci peuvent être traumatisantes. Lors de la mise en place d'un entraînement pliométrique, la survenue de blessures peut être causée par les enchainements de sauts sur surface dure et à haute intensité telle la répétition de drop jump ou de countermovement jump (7). De nombreux cliniciens et entraîneurs suggèrent que la plupart des blessures occasionnées lors de séances pliométriques et sportives surviennent à l'atterrissage (phase excentrique) et non pendant la phase concentrique ou de décollage (1).

Selon la littérature actuelle, l'apparition de DOMS est favorisée par le travail musculaire excentrique car il est à l'origine de la création de microlésions et de l'augmentation de la production de créatine kinase. Ces microlésions sont le résultat d'atteintes des bandes Z, des sarcomères et des myofibrilles (8). En 1988 une étude de Clarkson (9) a montré qu'à la suite

d'un entraînement pliométrique il y avait une augmentation des DOMS directement après l'entraînement avec un pic à 24 heures et cette augmentation perdure jusqu'à 72 heures après l'entraînement, avec une augmentation du taux de créatine kinase dans le sang (10).

Le masseur-kinésithérapeute est amené, lorsque cela est possible, à utiliser l'exercice dans l'eau comme un moyen de rééducation ou de réathlétisation. Les propriétés de l'eau permettent un travail avec une réduction du poids du corps et une résistance plus importante, elle est modifiée lors de la phase concentrique (résistance hydrodynamique). Les propriétés de flottabilité sont intéressantes car elles permettent de diminuer la force d'impact au sol et les contraintes au niveau articulaire, musculaire et tendineuse (11,12). Cela s'avère utile lors des phases post-opératoires ou post-traumatiques.

La pliométrie aquatique est le plus souvent utilisée comme une technique alternative à la pliométrie classique. Néanmoins, Sophie Heywood & al. (2016) concluent que les exercices de pliométrie aquatique offrent une charge similaire dans la phase de propulsion, tout en tirant partie des forces d'atterrissage plus faibles pour les articulations. Qu'en est-il de la performance concernant cette méthode de travail ? De nombreuses études ont évalué la performance de la pliométrie aquatique sur la détente verticale, c'est un critère intéressant car la hauteur de saut vertical est un bon outil pour évaluer l'effet du programme pliométrique il est également un bon indicateur pour la puissance musculaire. En 2016 Alexandre Duperrex & al. ont conclu dans une revue systématique qu'il n'y a pas de différence significative de la détente verticale entre un entraînement de pliométrie classique et de pliométrie aquatique. Cependant certaines études ont montré une augmentation significative de la détente verticale suite à un entraînement de pliométrie aquatique (13).

Nous avons utilisé les conclusions de la littérature scientifique concernant la pliométrie au sol et la pliométrie aquatique, leurs liens avec la performance et plus précisément la détente verticale. Nous avons également pris en compte les objectifs des masseurs-kinésithérapeutes qui sont la rééducation et la performance. Nous nous sommes interrogés concernant la présence d'un lien entre l'apparition de douleurs retardées et la mise en place d'un entraînement pliométrique au sol ou dans l'eau. Nous effectuons une revue de la littérature sur la pliométrie aquatique afin de tenter de répondre à cette question :

Existe-t-il une iatrogénie différente entre la pliométrie aquatique et la pliométrie au sol concernant l'apparition de DOMS ?

1.2. La pliométrie

La pliométrie est une méthode de renforcement musculaire popularisée dans les années 1975 aux Etats-Unis puis dans les années 1980 en Europe (2). Elle est communément décrite comme un enchaînement de sauts rapides et explosifs. La pliométrie est définie comme un état de tension spécifique du muscle regroupant trois phases. Il sera soumis à un phénomène d'allongement, une phase d'amortissement et un phénomène de raccourcissement. La pliométrie se base sur un mode de travail appelé « stretch-shortening cycle » (SSC) ou le cycle d'étirement-raccourcissement. Ce dernier va notamment permettre d'augmenter les performances durant la phase de contraction concentrique (14). Komi décrit trois modalités importantes pendant ce cycle, la pré-activation avant la phase excentrique, un enchaînement rapide entre la phase excentrique et concentrique et une phase excentrique la plus courte possible (14). La phase de pré-activation va dépendre des contraintes mécaniques présentes lors de l'impact. Cela va permettre de moduler la raideur du complexe musculo-tendineux via le réflexe myotatique (15). La littérature décrit trois facteurs expliquant ce bénéfice : les facteurs nerveux, l'élasticité du système « tendon-muscle » et le réflexe d'étirement (2).

Les facteurs nerveux permettent d'améliorer l'efficacité des mouvements rapides et le développement de la force. Pour cela il y a un recrutement spatial, temporel et une synchronisation plus efficace des unités motrices. En 2003, Sale démontre grâce à un EMG de surface que plus le nombre d'unités motrices recrutées est important plus le développement de la force est important (16).

L'élasticité du système « tendon-muscle » joue un rôle important. Concernant le muscle, ce phénomène est permis par la formation de ponts d'actine-myosine lors de la contraction musculaire. Durant la phase excentrique, le nombre de ponts d'actine-myosine est 1,8 fois plus important que pour une contraction isométrique, cela dépend aussi de la qualité de ces ponts (2). Concernant les tendons, des études ont démontré sur le triceps sural pendant un exercice de drop jump, que le tendon est responsable majoritairement de l'allongement lors de la

contraction excentrique et de la restitution d'énergie. En 2003, Komi a conclu que l'élément responsable de l'allongement et de la restitution dépendait du type de muscle.

Le réflexe d'étirement fait intervenir les fuseaux neuromusculaires. Ce sont des récepteurs sensibles à l'étirement, ils génèrent des messages nerveux en fonction de l'état du muscle. Lors de l'étirement, il va se produire une contraction réflexe de ce muscle permettant de contrer le changement de longueur. Elle a un rôle de protection musculaire lors d'une modification de longueur importante. Son délai est rapide il est de 40 ms (2). Cette contraction réflexe s'ajoute à la contraction volontaire pendant l'exercice et va permettre une augmentation de la force.

Trois phases se succèdent rapidement : la phase excentrique, la phase d'amortissement et la phase concentrique. La phase concentrique dans un exercice pliométrique permet une augmentation de la force de l'ordre de 18% à 20% comparée à la phase concentrique d'un exercice non pliométrique (1). Elle permet de développer l'explosivité et la détente musculaire, elle est le plus souvent testée ou travaillée via des exercices de sauts (CMJ, SJ, CMJB, DJ). Selon une étude de Hewett & al. (1996), un programme pliométrique permet de diminuer la force d'atterrissage en aidant les athlètes à améliorer le contrôle neuromusculaire des membres inférieurs lors de l'atterrissage et permet d'augmenter le saut vertical (17).

La pliométrie est une méthode de travail source de traumatismes. En effet selon Ben Jeddou & al., un entraînement pliométrique de 10 semaines entraîne une modification des propriétés mécaniques au niveau musculaire et tendineux des fléchisseurs plantaires. Ces remaniements structurels augmentent le risque de blessures au niveau du système musculosquelettique car leur raideur est augmentée (18). De manière générale, la phase de contraction excentrique est la phase la plus traumatisante pour le muscle car la force développée se produit alors que les fibres sont en allongement. De plus, lors du travail excentrique, la force maximale développée est supérieure au travail concentrique dans les mêmes conditions. Ajouté à la formation des ponts d'actine-myosine il y a une augmentation de la force grâce au phénomène de résistance à l'étirement. Le travail excentrique est à l'origine des modifications de la structure et de la fonction du muscle avec l'apparition de DOMS (19). Une étude réalisée en 2000 montre la présence de courbatures plus importante lors d'un entraînement pliométrique

et d'un travail excentrique comparé à un travail concentrique (20). Cette même étude montre que la quantité de créatine kinase est plus importante après un travail pliométrique et excentrique mais que cette différence est non significative (20).

1.3. Les DOMS

Les DOMS (Delayed Onset Muscle Soreness) ou douleurs musculaires d'apparition retardée, apparaissent lors d'efforts physiques intenses ou inhabituels. Le travail excentrique entraîne une augmentation des contraintes au niveau des structures anatomiques (muscles, tendons, jonctions musculo-tendineuses) plus importantes comparé au travail concentrique et isométrique. Pendant le travail excentrique, le muscle est soumis à une force supérieure à la force développée par les unités motrices en plus d'un phénomène actif d'étirement important (21). Cela s'explique par la mise en jeu d'une composante élastique plus importante pour un travail excentrique comparée à un travail concentrique et isométrique. Ces éléments permettent un développement de la force musculaires plus importante (21). Ces forces plus élevées sont produites par des fibres musculaires moins actives et plus dommageables (fibres de type II) et favorisent l'apparition de DOMS via des microlésions (8). De plus selon Nicol & al., la présence d'acide lactique au sein d'un muscle associée à un effort intense diminue sa résistance à l'effort et favorise l'apparition de DOMS (22).

Les microlésions engendrent l'apparition d'un phénomène inflammatoire permettant la résorption des micro traumatismes, il est en partie responsable des phénomènes douloureux. Armstrong & al. décrivent plus précisément le processus inflammatoire du muscle après l'effort, ce dernier est à l'origine des DOMS. Il différencie trois stades : « auto génique » ; « phagocytaire » ; « de régénération » (23). Ces phénomènes micro traumatiques engendrent au niveau clinique, l'apparition de phénomènes douloureux entre 6 à 12h après un effort physique puis augmentent jusqu'à atteindre un pic de douleur de 48 à 72h et vont persister pendant une durée de 2 à 5 jours avec des symptômes qui diminuent (Fig.1). Selon Nicol & al., la diminution des DOMS est progressive, elles disparaissent avant la récupération structuro-fonctionnelle complète et cela peut favoriser les blessures. En effet, selon Strojnik & al., pour des skieurs alpins les douleurs ont disparu au bout d'une semaine mais la production de force maximale était encore réduite de 20%.

Les phénomènes nociceptifs présents sont inconstants (15). Ils se traduisent par une palpation musculaire sensible, des muscles douloureux au repos, à l'étirement passif et à la contraction ainsi que des points douloureux au niveau des jonctions tendineuses. Nous observons également une altération des performances musculaires avec une diminution de la force de l'ordre de 40% pendant 2 à 10 jours (24), une réduction des amplitudes articulaires entraînant des modifications biomécaniques des articulations sous-jacentes ainsi qu'une diminution de la proprioception et la présence d'un léger œdème (21). Un entraînement pliométrique est source d'apparition de DOMS.

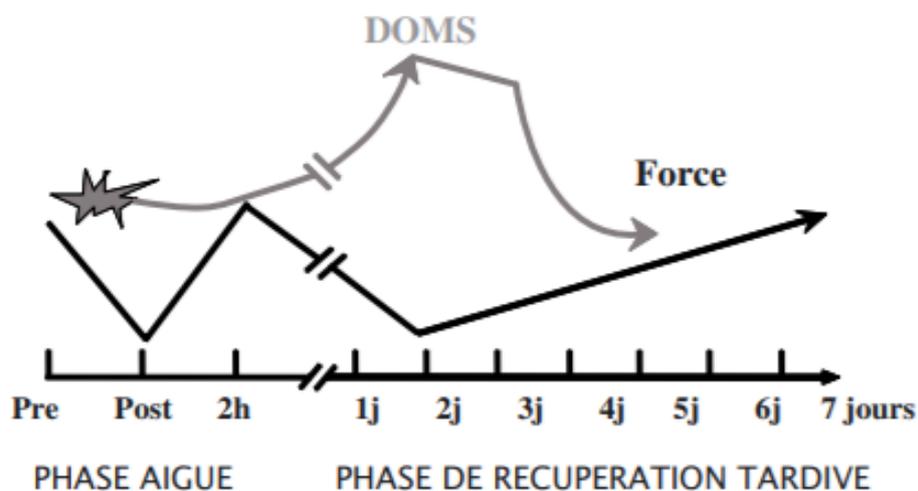


Figure 1: Evolution générale des DOMS et du développement de la force maximale en fonction du temps suite à un exercice de type SSC (Nicol & al. 2006)

1.4. Les marqueurs biologiques

La créatine kinase est une enzyme utilisée comme un marqueur lors des atteintes musculaires. Elle est libérée dans le sang lors d'une atteinte des sarcolemmes (lésions musculaires), cela se traduit par une augmentation de la perméabilité de la membrane (8). La surveillance du taux de concentration de CK est notamment utilisée lors de diagnostic des cardiomyopathies, des encéphalopathies et des maladies musculaires (25). La valeur normale de référence dans le sang chez l'Homme est comprise entre 15UI/l et 130UI/l. Il existe plusieurs biomarqueurs comme l'interleukine 6 (IL-6) ou encore la protéine C réactive (CRP) qui interviennent en phase aigüe. Ces marqueurs représentent les différentes phases du déroulement du cycle inflammatoire produit après un travail excentrique (10).

Le lactate déshydrogénase est une enzyme du métabolisme des glucides qui indique la présence de dommages cellulaires. Elle catalyse après l'effort le processus réversible du pyruvate en lactate. Le LDH est également un bon outil de diagnostic biochimique utilisé pour évaluer la performance des tissus musculaires ainsi que pour le diagnostic de certaines maladies (26).

L'urée est produite suite à la dégradation d'éléments azotés et protéiques. Dans le milieu sportif, le taux d'urée sérique est un marqueur de fatigue et de stress oxydatif. Il correspond à la balance entre l'urée créée par le foie et l'urée évacuée par voie rénale (27).

La surveillance de ces trois marqueurs (CK, LDH et urée) permet de déterminer l'état des muscles squelettiques ainsi que l'adaptation biochimique par rapport à la charge de travail effectuée. Ils ont un rôle dans le métabolisme musculaire et leur taux normal de concentration dans le sang est faible, néanmoins ces taux augmentent suite à un exercice soutenu et lors d'une pathologie musculaire (25). Les fibres musculaires métaboliquement épuisées seront plus fragiles suite à une diminution de la résistance de la membrane qui est à l'origine de l'augmentation des ions calcium (28).

1.5. Les propriétés de l'eau

Les propriétés de l'eau permettent de modifier la réalisation des exercices. Cela est notamment dû à ses caractéristiques de flottabilité qui mettent en jeu plusieurs éléments :

- ❖ La pression hydrostatique exerce une force perpendiculaire à la surface du corps immergé et son action dépend de la profondeur d'immersion, de la masse volumique déplacée et de la gravité. Elle s'exprime selon la formule suivante :

$p = \rho_{liq} \times g \times h$; avec p : la pression hydrostatique ; g : la gravité ; h : la profondeur d'eau

- ❖ La poussée d'Archimède exerce une force verticale vers le haut à tout corps immergé. Elle met en jeu le volume de liquide déplacé, la gravité et le poids du corps immergé. Elle correspond à la force résultante de la pression hydrostatique (11,12). Elle s'exprime selon la formule physique suivante :

$P_a = p \times V \times g$; avec p : le poids du corps immergé ; V : le volume du liquide déplacé ; g : la gravité

- ❖ La résistance hydrodynamique correspond au déplacement d'un corps immergé dans l'eau. Plus un corps se déplace rapidement plus la résistance est importante et plus la surface de déplacement est importante, plus le travail de résistance sera important. Elle s'exprime selon la formule physique suivante :

$R = K.S.\sin \alpha.(v-v')^2$; avec K : coefficient de viscosité ; $S.\sin \alpha$: surface d'attaque du corps immergé ; v : la vitesse de déplacement du corps ; v' : la vitesse du liquide qui l'entoure

Ces propriétés permettent de réduire le poids du corps lors de mouvements d'impact comme lors de la marche. En effet, le niveau d'immersion modifie le pourcentage du poids du corps et réduit les contraintes articulaires (11) (Fig. 2). Nous pouvons donc envisager une mise

en charge plus précoce et ces propriétés permettent l'ajout d'un phénomène de résistance qui est intéressant pour un travail de renforcement (12,29). Elles permettent de travailler de manière analytique ou fonctionnelle tout en réduisant le risque de lésions ou de rechutes. En effet le travail dans l'eau permet une réduction des douleurs ainsi qu'une meilleure mobilité (30).

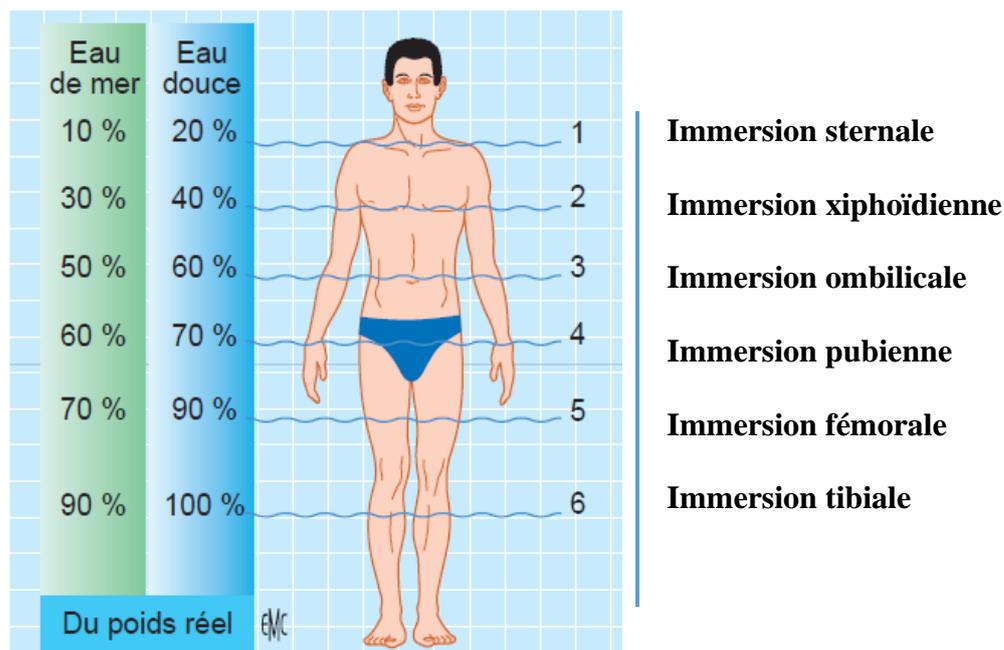


Figure 2 : Pourcentages du poids du corps en fonction du niveau d'immersion (Kemoun & al. 2006)

La pliométrie aquatique est la réalisation d'un entraînement de pliométrie dans l'eau. Elle permet un travail à intensité élevée avec une réduction de l'impact au sol et un risque faible de lésions des tissus cicatrisants (31). Les paramètres d'entraînement sont les mêmes que pour un entraînement de pliométrie au sol. Elle permet de travailler certaines capacités comme la force, l'explosivité, l'agilité. Ces capacités sont évaluables et permettent de démontrer l'intérêt pour la performance d'un entraînement de pliométrie aquatique. Des études ont été réalisées avec comme but d'étudier les effets de la pliométrie aquatique sur le corps.

1.6. Hypothèse de recherche

D'après la littérature scientifique, dans le milieu aquatique les contraintes de la phase excentrique et de la phase d'amortissement sont réduites. Néanmoins, la phase concentrique présente une augmentation des contraintes. Des études démontrent une absence de différence significative entre les deux milieux et la performance. Tandis que d'autres montrent des résultats similaires entre un programme d'entraînement de pliométrie au sol et un programme d'entraînement de pliométrie aquatique.

Concernant notre hypothèse de recherche, il semblerait que le travail dans l'eau permette de soigner les maux les plus variés. De plus cette méthode est utilisée dans divers domaines de rééducation comme la traumatologie, la pédiatrie ou la rhumatologie, afin de lutter contre les déficits d'amplitudes, les troubles circulatoires et les douleurs. Nous pensons que les masseurs-kinésithérapeutes peuvent être amenés à utiliser le travail dans l'eau associé à un programme d'entraînement pliométrique durant leur prise en charge.

Notre hypothèse avant la réalisation de cette revue de la littérature, est qu'un programme d'entraînement pliométrique dans l'eau produit moins de DOMS comparé à un programme d'entraînement pliométrique classique.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Stratégie de recherche documentaire

La question de recherche peut être modélisée selon le modèle PICO. Ce dernier nous a permis de mieux orienter nos recherches dans les différentes bases de données. Pour notre revue de la littérature, le modèle PICO se décline de la manière suivante :

- ❖ Patient : Adultes sans pathologie.
- ❖ Intervention : Entraînement pliométrique aquatique.
- ❖ Comparaison : Entraînement pliométrique au sol.
- ❖ Outcome : Apparition de DOMS.

Afin de répondre à la question, nous avons réalisé une revue de la littérature. Les bases de données utilisées pour nos recherches sont : Cochrane Library, Pubmed, PeDro. Nous avons complété nos recherches grâce à une base de données orientée dans le domaine sportif, avec l'utilisation de Base. Pour finir, une recherche complémentaire a été effectuée via google scholar.

Nous n'avons pas précisé de période de recherche afin d'obtenir un plus grand nombre d'articles. Pour cibler les recherches, notre équation de recherche a été modifiée. Les équations doivent être compatibles avec les différents critères de chacune des bases de données.

Pour les recherches, nous nous sommes orientés sur les thèmes « pliométrie aquatique » et « pliométrie ». Le sujet est traité majoritairement par des auteurs anglo-saxons, nous avons fait le choix d'utiliser préférentiellement des termes anglophones. Ensuite nous avons étayé nos équations de recherche en utilisant les différents synonymes du terme « aquatic ». Pour cela les termes Mesh de chaque moteur de recherche ont été utilisés quand cela était possible, nous nous sommes également servis de l'outil HeTOP. Nous avons obtenu les termes suivants : water, balneology, hydrotherapy, balneotherapy. Nous avons fait de même pour le terme « plyometric », nous obtenons le terme suivant : stretch shortening. De plus nous avons utilisé

la troncature à la fin du terme plyometric. Nous avons lié tous ces termes en ajoutant des opérateurs booléens tel AND et OR (Tab.I).

Tableau I : Equations de recherche

Bases de données	Equations de recherche
Cochrane library	(aquatic OR water OR balneotherapy OR hydrotherapy OR Balneology) AND (plyomet* OR "stretch shortening")
Medline	(aquatic OR water OR balneotherapy OR hydrotherapy OR Balneology) AND (plyomet* OR "stretch shortening")
PeDro	aquatic plyometric
Base	(aquatic) AND (plyometric)
Google scholar	"aquatic plyometric"

Nous avons obtenu au terme de ces recherches au total 518 articles. Avec 28 résultats (10 Cochrane reviews ; 1 Cochrane protocols ; 17 trials) sur Cochrane library, 51 résultats sur Medline, 2 résultats sur PeDro, 80 résultats sur Base et 357 résultats en recherche complémentaire sur google scholar. Suite à la mise en place des critères d'inclusion et d'exclusion, nous obtenons 17 résultats. Les critères d'inclusion et d'exclusion sont détaillés dans le paragraphe suivant. En dernier lieu, nous obtenons 5 résultats suite au retrait des doublons.

2.2. Méthode

Les recherches ont été réalisé d'octobre 2019 jusqu'au mois d'avril 2020. Concernant les critères d'inclusion, nous avons décidé de sélectionner les essais cliniques randomisés. Les articles sélectionnés devaient être soit en français soit en anglais. Les études devaient être réalisées sur des sujets sains, sportifs ou non sportifs (Tab.II).

Tableau II : Critères d'inclusion et d'exclusion

	Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
Langue	Français/Anglais	Autres langues
Type d'étude	Essais cliniques randomisés	Méta-analyse, revue de la littérature, essais non randomisés
Population	Sujets sains/sportifs/non sportifs	Sujets pathologiques

Les articles devaient comparer un programme de pliométrie aquatique et un programme de pliométrie au sol. Cette notion de comparaison devait figurer dans le titre et/ou dans le résumé. Les articles devaient utiliser l'apparition de douleurs comme un critère primaire et non comme un critère secondaire. Ce dernier devait être également présent dans le titre de l'article ou dans le résumé.

Nous avons établi des critères d'évaluation afin d'analyser les articles retenus pour notre revue de la littérature. Nous avons choisi comme critère d'évaluation l'apparition de DOMS après un entraînement pliométrique dans l'eau et après un entraînement pliométrique au sol ainsi que les moyens, les outils mis en place pour pouvoir les quantifier.

A la suite du choix des articles retenus pour notre revue, nous avons réalisé des fiches de lecture pour chaque article. Cela nous permet de mieux pouvoir les confronter, de pouvoir les analyser et d'avoir un œil critique. Les fiches de lecture finales sont présentées en annexe (ANNEXE I). Afin de compléter cette analyse nous leur avons attribué un niveau de preuve en utilisant les critères de la HAS et nous avons répertorié les différents biais présents dans chaque étude, pour cela nous avons utilisé les critères de la Cochrane (32).

3. RESULTATS

3.1. Les recherches

Au total, nous obtenons 518 articles conformes à nos critères pour notre revue de la littérature. Nous avons obtenu 518 résultats. Suite à la mise en place des critères d'inclusion, d'exclusion et au retrait des doublons, nous obtenons 7 articles pouvant faire partie de notre étude. A la lecture approfondie de ces 7 articles, nous en avons gardé 5. Les articles exclus ne remplissaient pas les critères d'inclusion. La totalité de ces choix est résumée dans un diagramme de flux (ANNEXE II).

Les cinq études retenues pour cette revue de la littérature sont :

Jurado-Lavanant A, Alvero-Cruz JR, Pareja-Blanco F, Melero-Romero C, Rodríguez-Rosell D, Fernandez Garcia JC. The Effects of Aquatic Plyometric Training on Repeated Jumps, Drop Jumps and Muscle Damage. *Int J Sports Med.* oct 2018;39(10):764-72 (33).

Robinson LE, Devor ST, Merrick MA, Buckworth J. The effects of land vs. aquatic plyometrics on power, torque, velocity, and muscle soreness in women. *J Strength Cond Res.* févr 2004;18(1):84-91 (34).

Mohammad Yaser Shiran , Mohammad Reza Kordi , Vahid Ziaee , Ali-Asghar Ravasi and Mohammad Ali Mansournia. The Effect of Aquatic and Land Plyometric Training on Physical Performance and Muscular Enzymes in Male Wrestlers. *Research journal of Biological Sciences.* 2008 ;3:457-61 (35).

Wertheimer V, Antekolovic L, Matkovic BR. Muscle Damage Indicators after Land and Aquatic Plyometric Training Programmes. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine.* 2018 ;7(1):13-9 (36).

Fonseca RT, Nunes RDAM, Castro JBP de, Lima VP, Silva SG, Dantas EHM, & al. The effect of aquatic and land plyometric training on the vertical jump and delayed onset muscle soreness in Brazilian soccer players. *Human Movement Special Issues*. 2017 ; 2017(5):63-70 (37).

3.2. Les études

Parmi les 5 articles obtenus, 3 sont des études randomisées contrôlées (Jurado-Lavanant & al. 2018 ; Shiran & al. 2008 ; Fonseca & al. 2017). Les 2 autres articles sont des études randomisées non contrôlées (Robinson & al. 2004 ; Wertheimer & al. 2018). Les études randomisées contrôlées permettent d'obtenir un niveau de preuve élevé. La répartition aléatoire des sujets permet de réduire la présence de biais et de réaliser des liens de causalité.

Afin d'évaluer la qualité du contenu de chaque article, nous avons voulu quantifier le niveau de preuve ainsi que le grade de chaque étude comprise dans notre revue. Pour cela nous avons utilisé les recommandations de l'HAS (Tab.III). Suite à la réalisation de cette analyse les 5 études sélectionnées pour cette revue affichent un niveau de preuve 2, cela correspond à des essais randomisés de faible puissance. Chaque étude affiche un grade B.

Tableau III : Grade des recommandations de la HAS

Grade des recommandations	Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature
A Preuve scientifique établie	Niveau 1 - essais comparatifs randomisés de forte puissance ; - méta-analyse d'essais comparatifs randomisés ; - analyse de décision fondée sur des études bien menées.
B Présomption scientifique	Niveau 2 - essais comparatifs randomisés de faible puissance ; - études comparatives non randomisées bien menées ; - études de cohortes.
C Faible niveau de preuve scientifique	Niveau 3 - études cas-témoins.
	Niveau 4 - études comparatives comportant des biais importants ; - études rétrospectives ; - séries de cas ; - études épidémiologiques descriptives (transversale, longitudinale).

3.3. La population

Les critères d'inclusion et d'exclusion que nous avons choisis de mettre en place étaient généraux pour nous permettre d'obtenir un plus grand nombre d'étude (Tab.IV).

Tableau IV : Récapitulatif des caractéristiques de la population pour chaque étude

Auteurs	Nombre de sujets par groupe	Genre	Age moyen	Activité physique
Jurado-Lavanant & al. (2018)	APT=20 PT=20 GC=25	Masculin	21,2 ± 2,9	Actifs physiquement
Robinson LE & al. (2004)	APT=15 PT=16	Féminin	20,2	Actifs physiquement
Shiran MY & al. (2008)	APT=7 PT=7 GC=7	Masculin	20,3 ± 3,6	Lutteurs en club
Wertheimer V & al. (2018)	APT=10 PT=10	Masculin	APT=21.90 ± 1.73 PT=22.33 ± 2.06	Actifs physiquement
Fonseca RT & al. (2017)	APT=8 PT=8 GC=8	Masculin	16.53 ± 0.5	Footballeurs en club

3.4. Les outils de mesure

Différents outils de mesure sont utilisés dans ces études. Ils ont pour objectif de qualifier et de quantifier la présence de DOMS avant et après chaque programme d'entraînement.

Fonseca & al. utilisent une échelle visuelle analogique numérotée de 1 à 10 avec le nombre 1 représentant la réponse « aucune douleur musculaire » et le nombre 10 représentant la réponse « muscle très douloureux, difficulté à se mouvoir ». Cette évaluation permet de quantifier la présence de DOMS au niveau des muscles extenseurs du genou. Les sujets sont amenés à coter leur douleur avant et après les 6 semaines du programme d'entraînement pliométrique.

Robinson & al. utilisent une échelle ordinaire d'auto-évaluation pour la douleur musculaire. Cette échelle est numérotée de 1 à 10 avec le nombre 1 représentant la réponse « pas de douleur » et le nombre 10 représentant la réponse « très, très douloureux ». Chaque muscle est décrit par une image et les sujets ont pour consigne de décrire subjectivement leur douleur. Pour quantifier la sensibilité à la douleur, un algomètre de pression est utilisé (Fig. 3). La mesure est réalisée allongée par une pression au niveau musculaire. L'algomètre varie d'un minimum de 2 kg « douleur et sensibilité extrêmes » à un maximum de 20 kg « pas de douleur et pas de sensibilité ». Ces éléments sont évalués au départ et lors de chaque augmentation de l'intensité du programme d'entraînement, c'est-à-dire à 0, 3 et 6 semaines. Ces mesures sont prises au niveau de 3 muscles (le droit fémoral, le biceps fémoral et les gastrocnémiens) et à différents horaires (0, 48 et 96h après l'entraînement).

Trois études mesurent des facteurs biologiques présents dans le sang pour quantifier la présence de DOMS (Jurado-Lavanant & al., Shiran & al., Wertheimer & al.). L'étude de Jurado-Lavanant & al. mesure la concentration de créatine kinase présente dans le sang. Les prises de sang sont réalisées avant l'entraînement de la première semaine, 48h après la séance représentant la moitié du programme et à la dernière séance. L'étude de Shiran & al. mesure la concentration de créatine kinase et de lactate déshydrogénase présente dans le sang. Les prises de sang sont réalisées avant le début du programme et après la fin du programme. L'étude de Wertheimer & al. mesure la concentration de créatine kinase, de lactate déshydrogénase et d'urée dans le sang. Les prises de sang sont au nombre de 4, elles sont effectuées avant/après la première séance et avant/après la dernière séance du programme. Elles sont réalisées 1h après l'entraînement et 24h après.

Le récapitulatif des outils de mesure et des critères mesurés utilisés dans chaque étude est présenté dans un tableau (Tab.V).



Figure 3 : Un algomètre de pression (Fransoo P. 2009)

Tableau V : Récapitulatif des outils de mesure et des critères mesurés

Auteurs	Outil	Critère mesuré
Jurado-Lavanant & al. (2018)	Analyse sanguine	Concentration de créatine kinase
Robinson LE & al. (2004)	- Echelle ordinale d'auto-évaluation -Algomètre	-La douleur musculaire -La sensibilité à la douleur musculaire
Shiran MY & al. (2008)	Analyse sanguine	Concentration de lactate déshydrogénase et de créatine kinase
Wertheimer V & al. (2018)	Analyse sanguine	Concentration de lactate déshydrogénase, de créatine kinase et d'urée
Fonseca RT & al. (2017)	Echelle visuelle analogique	Intensité des DOMS

3.5. Les programmes d'entraînement

Les programmes d'entraînement de pliométrie au sol et de pliométrie aquatique diffèrent selon les études. Les conditions des interventions de chaque étude sont récapitulées dans un tableau (Tab.VI).

Les cinq études présentent une augmentation de l'intensité de travail au cours du programme d'entraînement.

Pour l'étude de Jurado-Lavanant & al., le nombre de répétitions de sauts est augmenté de 5 toutes les semaines (de 10 répétitions la 1^{ère} semaine, à 55 répétitions la 10^{ème} semaine), le nombre de séries et le temps de repos ne sont pas modifiés.

Pour l'étude de Shiran & al., l'augmentation d'intensité est décrite sous forme de pourcentage avec une augmentation de 5% toutes les semaines (de 80% la 1^{ère} semaine à 105% la 5^{ème} semaine).

Pour l'étude de Wertheimer & al., le nombre de répétitions de sauts est augmenté de 150 à 200 sauts au cours du programme, néanmoins les auteurs ne détaillent pas les paliers d'augmentation.

Pour l'étude de Fonseca & al., le nombre de séries d'entraînement augmente de un toutes les 2 semaines, le temps de pause est augmenté à partir de la cinquième semaine, il y a une augmentation du nombre de sauts par série.

Pour l'étude de Robinson & al., l'intensité de travail est augmentée une première fois après 2 semaines et une seconde fois après 5 semaines d'entraînement mais les auteurs ne quantifient pas l'augmentation des répétitions au cours du programme d'entraînement.

Tableau VI : récapitulatif des caractéristiques des programmes d'entraînement

Auteurs	Durée du programme	Exercices	Conditions de pratique (APT /PT)		Nombre de sauts
Jurado-Lavanant & al. (2018)	-10 semaines -2 séances/ semaine	- sauts verticaux	Piscine : 2,20m de profondeur 27°C	Gymnase (ciment)	6 500
Robinson LE & al. (2004)	-8 semaines -3 séances/ semaine	-10 exercices de sauts (type de sauts non précisé)	Piscine : 1,20-1,30 m de profondeur 25°- 26°C	Gymnase	Entre 7 200 et 24 000
Shiran MY & al. (2008)	-5 semaines -3 séances/ semaine	- drop jumps - star jumps - squat jumps - countermovement jump	Non spécifié	Non spécifié	1 800
Wertheimer V & al. (2018)	-8 semaines -2 séances/ semaine	- ankle jumps - countermovement jumps - drop jumps 30 cm - ankle jumps sur une jambe - countermovement jumps sur une jambe - sauts latéraux sur une jambe - sauts latéraux	Piscine : eau au niveau des hanches	Salle de sport	Entre 2 400 et 3 200
Fonseca RT & al. (2017)	-6 semaines -2 séances/ semaine	-Drop jumps	Piscine : 1m de profondeur 28°C	Terrain de football	944

3.6. Les résultats des études

3.6.1. Les analyses sanguines

Dans l'étude menée par Jurado-Lavanant & al., les auteurs observent une augmentation de la concentration de créatine kinase dans le sang durant le programme d'entraînement de pliométrie au sol (entre T1 et T3) avec une augmentation de 15%. Pour le programme d'entraînement de pliométrie aquatique, ils constatent une augmentation de concentration de créatine kinase de 3,2%. Pour le groupe contrôle, ils observent une diminution de la concentration en créatine kinase de 11,9%. Les auteurs n'observent pas de différences significatives entre les différents groupes lors des mesures à T1. Le programme de pliométrie au sol semble produire un taux de concentration de créatine kinase supérieur au groupe contrôle. L'entraînement de pliométrie aquatique semble produire également un taux de concentration

de créatine kinase supérieur au groupe contrôle, alors que les différences entre la pliométrie au sol et la pliométrie aquatique ne sont pas claires. Néanmoins, l'écart type est important pour la pliométrie au sol comparé à la pliométrie aquatique. Il n'existe pas de différence statistiquement significative entre le groupe au sol et le groupe dans l'eau.

Dans l'étude menée par Shiran & al., la concentration de créatine kinase augmente dans les 3 groupes entre les 2 mesures. Pour le groupe pliométrie au sol, il y a eu une augmentation de la concentration en CK de 191,3 UI/l, pour le groupe de pliométrie aquatique une augmentation de 71,3 UI/l et pour le groupe contrôle une augmentation de 15 UI/l. L'augmentation de la concentration de CK dans le sang est presque statistiquement significative pour le groupe au sol. Les différences du taux de CK dans le sang entre le groupe dans l'eau et le groupe contrôle ne sont pas significatives. L'augmentation de la concentration de CK pour le groupe au sol est significative par rapport au groupe contrôle. Pour le lactate déshydrogénase, les auteurs observent une diminution de la concentration dans les 3 groupes. Pour le groupe de pliométrie au sol, il y a une diminution de 78,7 UI/l, pour le groupe de pliométrie aquatique il y a une diminution de 142 UI/l et pour le groupe contrôle elle est de 3,2 UI/l mais ces différences ne sont pas statistiquement significatives.

Dans l'étude menée par Wertheimer & al., les auteurs observent une augmentation de la concentration en créatine kinase dans le sang pour les 2 groupes expérimentaux entre les analyses réalisées avant et après la première et la dernière séance. Pour les analyses de la première séance d'entraînement du groupe de pliométrie au sol il y a une augmentation de 274,41 UI/l et pour les analyses de la dernière séance il y a une augmentation de 265,42 UI/l. Ces différences sont statistiquement significatives. Concernant le groupe de pliométrie aquatique il y a une augmentation de 222,23 UI/l pour la première séance et une augmentation de 84,22 UI/l pour la dernière séance. Ces différences sont également statistiquement significatives mais avec des concentrations de CK inférieures. Les résultats présentent une différence significative entre les 2 groupes pour la concentration de CK après la dernière séance d'entraînement. Pour les LDH les auteurs n'observent pas de différences significatives entre les analyses de sang. Concernant l'urée, les auteurs n'ont observé aucune différence significative entre les groupes. La seule différence significative concerne la concentration d'urée dans le sang avant et après la première séance d'entraînement de pliométrie au sol.

3.6.2. L'échelle ordinale d'auto-évaluation et l'algomètre

Dans l'étude menée par Robinson & al., pour les 2 groupes expérimentaux les douleurs musculaires sont similaires immédiatement après la séance d'entraînement quel que soient la semaine et le muscle testés. Néanmoins le groupe pliométrie au sol a une perception de la douleur musculaire significativement plus élevée que le groupe pliométrie aquatique à 48h et à 96h après la séance pour chaque muscle au cours des différentes mesures. Il y a une corrélation significative en fonction du groupe de traitement, du temps et des muscles pour la perception de la douleur musculaire. Concernant la sensibilité à la douleur musculaire, il n'y a pas de corrélation significative en fonction du groupe de traitement, du temps et des muscles, ni de différence significative dans la sensibilité à la douleur entre les groupes d'entraînement de pliométrie au sol et de pliométrie aquatique. Cependant, nous observons une augmentation significative de la perception de la sensibilité à la douleur concernant tous les muscles pour le groupe de pliométrie au sol de poids à 48h et durant la première et la deuxième augmentation de l'intensité.

3.6.3. L'échelle visuelle analogique

Dans l'étude menée par Fonseca & al., pour le groupe de pliométrie au sol la moyenne du ressenti de l'intensité des DOMS est de 1,83 avant les tests et de 1,50 après les tests. Pour le groupe pliométrie aquatique la moyenne du ressenti de l'intensité des DOMS est de 1,61 avant les tests et de 0,19 après les tests. Les auteurs observent une réduction significative des DOMS concernant les résultats suite aux tests du groupe pliométrie aquatique par rapport au groupe pliométrie au sol. La taille de l'effet était forte dans le groupe pliométrie aquatique et modérée dans le groupe pliométrie au sol. Cela indique une amélioration des résultats.

3.7. Zoom sur les résultats

3.7.1. Les études avec analyses sanguines

3.7.1.1. Créatine Kinase

Sur les 5 études retenues, 3 d'entre elles utilisent le taux de créatine kinase dans le sang comme élément de mesure des DOMS.

Concernant la mesure du taux de CK, 3 études (100%) montrent une augmentation du taux de créatine kinase dans le sang après l'entraînement pour les groupes de pliométrie au sol et dans l'eau avec une augmentation plus importante pour les groupes au sol (33,35,36). Deux études sur trois (66%) n'obtiennent pas de différence significative concernant le taux de CK entre le groupe pliométrie au sol et pliométrie aquatique (33,35). L'étude de Wertheimer & al. obtient une différence significative du taux de CK après la dernière séance entre les deux groupes expérimentaux en faveur du groupe au sol. Deux études sur trois incluent un groupe contrôle, une étude montre une augmentation du taux de CK (35) tandis que l'autre étude montre une diminution (33). Ces deux études obtiennent des différences non significatives entre le groupe aquatique et le groupe contrôle (Fig. 4).

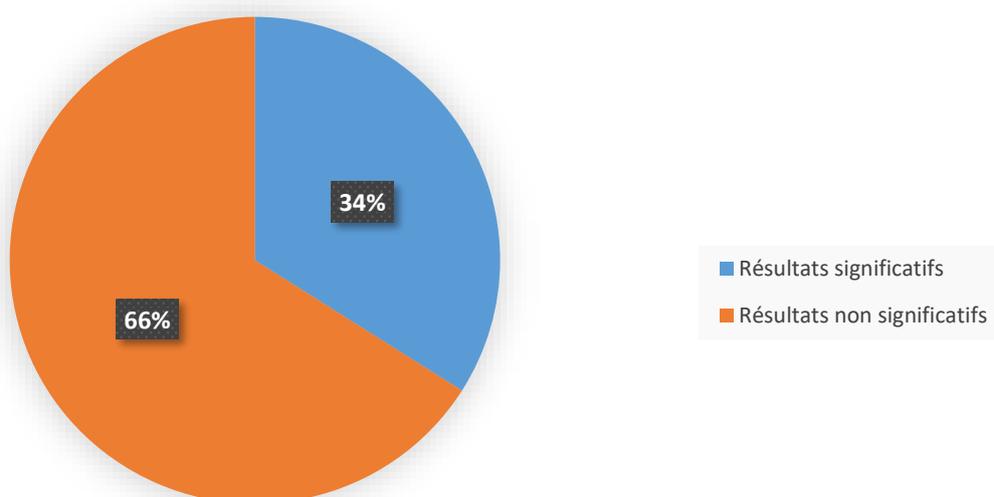


Figure 4 : Récapitulatif des résultats significatifs et non significatifs du taux de CK entre le groupe de pliométrie aquatique et au sol

3.7.1.2. Lactate déshydrogénase

Sur les 5 études retenues, 2 d'entre elles utilisent le taux de lactate déshydrogénase comme élément de mesure des DOMS.

Concernant la mesure du taux de LDH, sur les 2 études, une d'entre elles montre une diminution du taux de LDH dans les 3 groupes avec une diminution plus importante pour le groupe de pliométrie aquatique, néanmoins ces diminutions ne sont pas significatives (35). Les 2 études (100%) obtiennent des résultats non significatifs entre les groupes (35,36).

3.7.1.3. Urée

Sur les 5 études retenues, une d'entre elles utilise le taux d'urée comme élément de mesure des DOMS.

L'étude de Wertheimer & al. présente une seule différence significative avant et après la première séance d'entraînement du taux d'urée dans le sang pour le groupe de pliométrie au sol. Les autres résultats ne montrent pas de différence significative, néanmoins le taux d'urée du groupe au sol est supérieur au groupe dans l'eau.

3.7.2. Les échelles de douleurs et l'algomètre

Les 2 études montrent une différence significative de la perception d'apparition de douleurs entre le groupe de pliométrie au sol et le groupe de pliométrie aquatique en faveur du groupe au sol (34,37). Cependant la perception d'apparition des DOMS diminue entre la première et la dernière mesure. Pour l'étude de Robinson & al., la perception d'apparition de douleurs est égale pour les deux groupes expérimentaux immédiatement après le premier entraînement.

Une seule étude utilise l'algomètre comme mesure de la sensibilité à la douleur (34). Dans cette étude, les auteurs obtiennent une augmentation significative pour le groupe pliométrique au sol pour tous les muscles testés et à chaque modification d'intensité.

Néanmoins il n'existe pas de différence significative entre les groupes de pliométrie aquatique et au sol (Fig. 5).

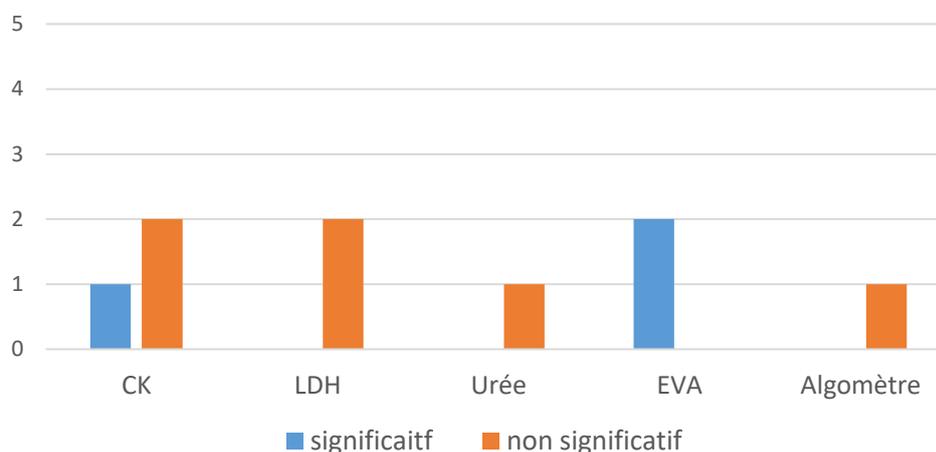


Figure 5 : Récapitulatif des résultats significatifs ou non significatifs entre les groupes de pliométrie aquatique et au sol

En résumé, trois études sur cinq (33–35) n'observent pas de différence significative entre le groupe de pliométrie au sol et le groupe de pliométrie aquatique. Trois études sur cinq (34,36,37) montrent des différences significatives entre les 2 groupes expérimentaux. Trois études sur cinq (34–36) obtiennent des résultats différents en fonction des outils de mesure (Fig. 6).

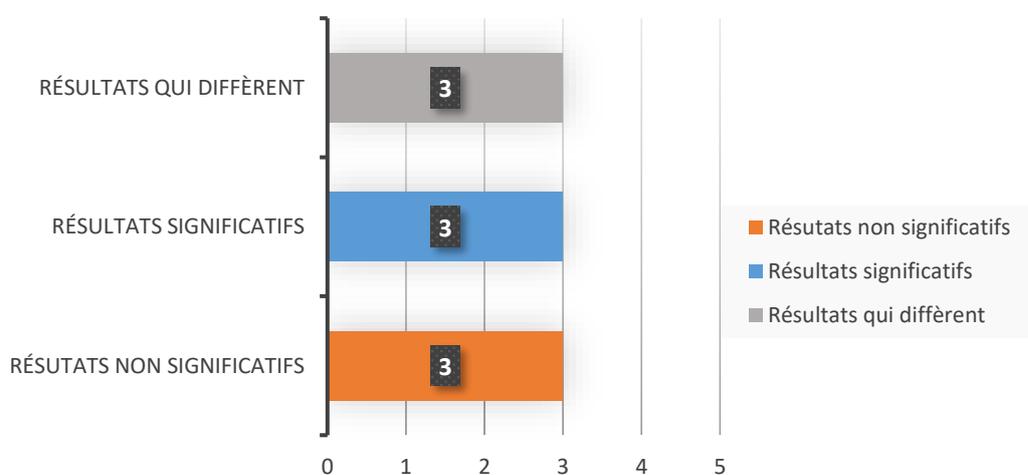


Figure 6 : Récapitulatif des résultats

3.7.3. Lien avec la performance

Dans l'étude de Jurado-Lavanant & al., les auteurs obtiennent une augmentation significative des variables de performances (RJ/DJ30/DJ50) au sein du groupe au sol tandis que pour le groupe aquatique, l'augmentation des variables est inférieure et non significative. Il existe des différences significatives entre les 2 groupes concernant les variables RJ et DJ50. Pour rappel dans cette étude, les auteurs obtiennent une augmentation plus importante du taux de créatine kinase pour le groupe au sol.

Dans l'étude de Shiran & al., les auteurs obtiennent une augmentation significative de la force et de la vitesse sur 20m pour le groupe de pliométrie au sol, une augmentation significative de la force pour le groupe de pliométrie aquatique. Il y a une amélioration des variables de performance pour les 2 groupes expérimentaux avec une augmentation supérieure pour le groupe au sol. Il n'existe pas de différence significative entre les 2 groupes à l'exception de la vitesse sur 20m. Pour rappel dans leur étude, les auteurs obtiennent une augmentation du taux de CK plus importante et une diminution du taux de LDH moins importante pour le groupe au sol.

Concernant l'étude de Wertheimer & al., les auteurs ont montré une amélioration de toutes les variables de performance excepté pour le saut en longueur sans élan chez le groupe aquatique et une augmentation des variables (V10/V20/VJ) chez le groupe au sol. Pour rappel, les auteurs ont montré une augmentation du taux de CK significative à la dernière séance et un taux supérieur non significatif d'urée chez le groupe au sol.

Dans l'étude de Robinson & al., les auteurs ont montré une augmentation non significative des variables de performance pour les 2 groupes expérimentaux avec une légère augmentation plus importante chez le groupe de pliométrie aquatique. Il n'existe pas de différence significative entre les 2 groupes. Pour rappel, l'étude a montré une différence significative du ressenti de la douleur et une sensibilité plus importante à la douleur pour le groupe au sol, mais cette dernière n'est pas significative par rapport au groupe aquatique.

Dans l'étude de Fonseca & al., les auteurs obtiennent une augmentation significative de la détente verticale des 2 groupes expérimentaux avec une augmentation plus élevée pour le groupe dans l'eau mais pas de différence significative entre les deux groupes. Il y a une diminution significative du temps de contact pour le groupe aquatique et une augmentation significative des 2 groupes concernant le temps de sauts et la vitesse de sauts. Pour rappel, les auteurs ont montré une diminution significative de la présence de DOMS chez le groupe de pliométrie aquatique comparé au groupe de pliométrie au sol.

En résumé, deux études sur cinq (40%) montrent une augmentation des variables de performance supérieure du groupe au sol associée à une augmentation de la présence de DOMS plus importante (33,35). Deux études sur cinq (40%) montrent une augmentation de la performance supérieure associée à une plus faible augmentation des DOMS pour le groupe aquatique et une augmentation moins importante des performances associée à une augmentation plus importante des DOMS pour le groupe au sol (34,36). Une étude (20%) obtient une augmentation moins importante des performances et des DOMS pour le groupe aquatique (33). Une étude (20%) montre une augmentation moins importante des performances associée à une diminution plus importante des DOMS chez le groupe aquatique (35). Une étude (20%) obtient une augmentation supérieure des performances associée à une diminution plus importante des DOMS pour le groupe aquatique, pour le groupe au sol il y a une augmentation moins importante des performances associée à une diminution moins importante des DOMS (37). Trois études sur cinq (60%) montrent une amélioration supérieure de certaines variables de performance pour le groupe de pliométrie aquatique par rapport au groupe de pliométrie au sol associée à une présence de DOMS moins importante (34,36,37). Ces éléments sont récapitulés dans un tableau en annexe (ANNEXE III).

4. DISCUSSION

Les études obtiennent majoritairement des résultats allant dans le sens d'une augmentation moins importante des DOMS pour les groupes expérimentaux dans l'eau comparés aux groupes expérimentaux au sol. Néanmoins ces résultats ne sont pas toujours significatifs, nous pouvons nous interroger sur les origines de ces différences. Nous allons considérer plusieurs éléments tels la méthodologie de travail et les biais de ces études afin de tenter d'évaluer la fiabilité des résultats de ces différentes études et de déterminer si nous pouvons nous appuyer sur leurs conclusions.

4.1. Interprétation des résultats

4.1.1. La population

Un premier élément que nous pouvons considérer, est la population. Les 5 études ont des sujets avec la même moyenne d'âge entre 16 et 22 ans, une seule étude comporte des sujets féminins (34). Toutes les populations sont sportives, néanmoins dans 2 études, ce sont des sujets réalisant un sport en club, le football pour l'étude de Fonseca & al., et la lutte pour l'étude de Shiran & al. Tandis que dans les autres études, ce sont des sujets qualifiés « d'actif physiquement ». Les critères de non-activité avant les jours de tests sont décrits dans certaines études mais il semble difficile de déterminer le volume et le type d'activité des sujets en dehors du protocole de recherche. De plus pour les études avec les sportifs de club, nous pouvons nous interroger sur leur rapport à la pliométrie lors de leur entraînement, cela peut influencer les résultats.

4.1.2. Les conditions d'entraînement

La température

Concernant la température de l'eau des piscines utilisées, les auteurs de 2 études ne renseignent pas cet élément (35,36). Pour les autres études, les températures décrites par les auteurs diffèrent légèrement, elles sont de 27° pour l'étude de Jurado-Lavanant & al., comprise

entre 25 et 26° pour l'étude de Robinson & al. et de 28° pour l'étude de Fonseca & al. Nous pouvons nous interroger sur l'influence de cet élément sur les résultats obtenus, notamment concernant les études utilisant des analyses sanguines. En 2008, Skurvydas & al. ont montré dans leur étude que l'immersion dans l'eau chaude avant un exercice de pliométrie entraînait une diminution des marqueurs indirects de lésions musculaires pendant l'exercice directement après et 72h après l'exercice (38). De plus, il y a la notion de thérapie qui peut rentrer en compte, la chaleur va augmenter la température des tissus, augmenter le flux sanguin et avoir un effet antalgique (39).

Niveau de l'eau

Concernant la profondeur d'eau utilisée pour les protocoles d'entraînement dans l'eau, quatre études sur cinq utilisent des niveaux d'eau différents (33,34,36,37), la dernière étude ne renseigne pas du niveau d'eau utilisé (35). Les études de Fonseca & al. et de Robinson & al. semblent utiliser le niveau d'immersion le plus bas et nous observons une diminution de la perception des DOMS. Le niveau de profondeur entraîne un ralentissement des actions musculaires excentriques et concentriques d'un protocole d'entraînement dans l'eau. Ce ralentissement sera proportionnel à l'importance de la profondeur d'eau (40), nous pourrions nous attendre à une présence de DOMS moins élevée lorsque la profondeur d'eau est plus importante. L'étude de Jurado-Lavanant & al. montre une augmentation moins importante de concentration en CK dans le sang avec une profondeur d'eau de 2,20m comparée aux études de Shiran & al. et Wertheimer & al., mais ces deux dernières études ne renseignent pas sur le niveau d'eau précisément. Cela nous semble donc difficile de constater une réelle influence de la profondeur d'eau sur la diminution ou l'augmentation de DOMS car nous manquons d'informations pour certaines études. De plus les auteurs déterminent pour chacun de leur protocole une profondeur d'eau pour tous les sujets et ils utilisent la taille moyenne des sujets participants. Ces variations peuvent influencer les résultats car le pourcentage d'immersion de chaque sujet n'est pas le même et par conséquent le poids du corps immergé pendant l'effort ne sera pas le même pour tous.

Le type de sol

Concernant l'influence du sol, nous devons prendre en compte la différence du type de sol utilisé dans chaque étude. Dans les études de Jurado-Lavanant & al., Robinson & al., et Wertheimer & al., les protocoles de pliométrie au sol sont réalisés sur des revêtements rigides de type ciment tandis que dans l'étude de Fonseca & al., le protocole de pliométrie au sol est effectué sur terrain de football. Selon Arazi & al., il existe une présence plus importante de DOMS pour un entraînement pliométrique sur une surface ferme comparée à une surface de type sable et à un milieu aquatique. Un revêtement rigide multiplie la force d'impact par 3 ou 4 fois le poids du corps du sujet (41). Nous devons également prendre en compte l'effet de flottabilité du milieu aquatique qui réduit la force de réaction au sol et réduit les phénomènes traumatisants (42).

4.1.3. Intensité d'entraînement et protocole

Durée et intensité

Concernant les protocoles d'entraînement, les auteurs ont mis en place des durées de programmes et des fréquences d'entraînement différentes. Concernant la durée du programme, 2 études ont mis en place un protocole durant 8 semaines avec une fréquence de 2 séances par semaine pour l'une et 3 séances par semaine pour l'autre (34,36), une étude qui dure 10 semaines avec 2 séances par semaine (33), une étude qui dure 5 semaines avec 3 séances par semaine (35) et une dernière étude qui dure 6 semaines avec 2 séances par semaine (37). Le nombre de sauts et l'évolution de l'intensité de travail diffèrent également entre les études. Tous ces éléments sont récapitulés dans un tableau (Tab.VII). Il nous semble difficile de pouvoir affirmer une causalité entre ces paramètres et l'apparition de DOMS, néanmoins nous pouvons émettre comme hypothèse que le nombre de sauts et la durée du programme peuvent être des facteurs d'influence. L'étude qui démontre une diminution significative de la présence de DOMS, est l'étude comprenant le moins de sauts dans son protocole et une des durées d'entraînement les plus courtes (37). Tandis que l'étude de Robinson & al. possède le plus de sauts dans son protocole et une des durées les plus longues d'entraînement, cette dernière montre

une différence significative en faveur du programme de pliométrie au sol. Pour les études utilisant les analyses sanguines il nous semble plus difficile de réaliser des liens.

Tableau VII : Récapitulatif des caractéristiques des protocoles d'entraînement de chaque étude

	Jurado-Lavanant & al.	Robinson LE & al.	Shiran MY & al.	Wertheimer V & al.	Fonseca RT & al.
Durée	10 semaines	8 semaines	5 semaines	8 semaines	6 semaines
Fréquence	2/semaine	3/semaine	3/semaine	2/semaine	2/semaine
Nombre de sauts	6 500	Entre 7 200 et 24 000	1 800	Entre 2 400 et 3 200	944
Intensité	+5 sauts chaque semaine	Augmentation à 2 reprises (sans détail)	Augmentation progressive (en %)	Pas d'augmentation	Augmentation progressive

Type de saut

Concernant le type de saut, chaque étude a mis en place un protocole d'entraînement différent. Les principaux sauts de type pliométrique sont les sauts verticaux, les squats jumps, les countermovement jump, les countermovements avec les bras et les drop jump. Les protocoles de Robinson & al. et de Wertheimer & al. comportent le plus d'exercices différents, respectivement 10 et 7 types de sauts, tandis que les protocoles de Jurado-Lavanant & al. et de Fonseca & al. comportent un seul type de saut. Néanmoins il nous semble difficile de faire un lien de causalité entre le type, le nombre d'exercices différents et l'apparition de DOMS sans prendre d'autres paramètres en compte tels le volume de travail et la période d'expérimentation.

4.1.4. La performance

Concernant le lien avec la performance, au vu de l'hétérogénéité des différences de paramètres utilisés dans chacune des études, nous rencontrons des difficultés à conclure à un impact de la performance sur l'apparition des DOMS et inversement. Néanmoins nous pouvons constater une augmentation des performances pour chacun des groupes expérimentaux et évoquer une efficacité d'un programme d'entraînement pliométrique au sol et dans l'eau. Nous pouvons également constater que pour le groupe de pliométrie aquatique, peu importe les résultats concernant la performance il a y toujours un impact moins important concernant la présence de DOMS comparé au groupe expérimental au sol. Nous constatons bien des différences, néanmoins elles ne sont pas toujours significatives.

En résumé, les différences de méthodologies entravent la réalisation de comparaisons directes entre les résultats des études. En effet certaines différences sont significatives, certains résultats le sont également et sont en adéquation avec la littérature actuelle, néanmoins il nous semble difficile de faire des conclusions générales, ce sont plus des tendances qui se dégagent.

4.2. Détermination des biais et des limites

Afin de déterminer la qualité des articles que nous avons inclus dans notre revue de la littérature, nous avons utilisé un outil d'analyse d'étude mis en place par la Cochrane collaboration. Cet outil nous permet d'analyser les risques de biais que nous pouvons trouver dans nos études et qui peuvent en diminuer la qualité. Nous nous sommes appuyés sur l'article de la revue d'Evidence Based Medicine (32). Il comporte 7 domaines de biais mesurés lors de l'inclusion d'une étude dans une synthèse méthodique (43) :

- ❖ Les biais de sélection qui peuvent advenir lors de la séquence de randomisation, ce biais caractérise la méthode de répartition des sujets au sein de l'étude.
- ❖ Les biais d'attribution caractérisés par la technique de répartition des sujets (nous parlerons d'étude en aveugle ou double aveugle).
- ❖ Les biais de performance sont caractérisés par le niveau d'insu des patients et/ou des soignants ou s'il y a une différence entre le groupe d'intervention et le groupe contrôle.

- ❖ Les biais de détection caractérisés par le respect de l'insu des évaluateurs (nous parlerons de triple aveugle) et des personnes qui analysent les résultats.
- ❖ Les biais de migration caractérisés par la présence incomplète de données concernant les critères de jugement (exemple : les perdus de vue).
- ❖ Les biais de notification sont caractérisés par le rapport sélectif des critères de jugement.
- ❖ Les « autres » biais qui concernent tous les biais ne pouvant être classés dans les 6 premiers domaines (exemple : biais de mesure, biais de publication).

Pour chacun des 7 domaines, nous avons attribué un risque de biais selon 4 catégories : « faible risque de biais » ; « risque de biais modéré » ; « risque de biais élevé » et « risque de biais indéterminé ». Un tableau récapitulatif de la présence de biais dans chaque étude est présent en annexe (ANNEXE IV).

4.2.1. Biais de sélection

A propos de la génération de la séquence de randomisation, 4 études (Jurado-Lavanant & al., Robinson & al., Shiran & al. et Wertheimer & al.) présentent un risque de biais modéré car la méthode de randomisation utilisée dans chacune de ces études n'est pas décrite par les auteurs. Pour l'étude de Fonseca & al., la conception de la séquence de randomisation n'est pas évoquée dans le corps de l'article, les auteurs évoquent seulement la randomisation dans le résumé et sans mentionner de détail, cela nous permet de définir un risque élevé de biais pour cette étude.

4.2.2. Biais d'attribution

Concernant ce biais, pour les 5 études, la conservation du secret d'attribution n'a pas été décrite par les auteurs, cela nous permet d'attribuer un risque modéré à chacune de ces études.

4.2.3. Biais de performance

Concernant le risque de biais de performance, les études de Robinson & al. et de Wertheimer & al. mettent en place le même protocole d'entraînement pliométrique pour les 2 groupes expérimentaux. Néanmoins les auteurs n'incluent pas de groupe contrôle dans leurs études. De plus il n'était pas possible de réaliser les études en double aveugle, cela nous permet d'attribuer un risque de biais élevé. Concernant les études de Jurado-Lavanant & al., Shiran & al. et Fonseca & al, nous attribuons également un risque de biais élevé. Les auteurs évaluent 2 groupes expérimentaux avec le même protocole d'entraînement pliométrique et un groupe contrôle, cependant les 3 études ne sont pas effectuées en double aveugle.

4.2.4. Biais de détection

A propos du risque de biais de détection, les auteurs ont tous utilisé des logiciels informatiques pour les analyses statistiques de leur étude. Néanmoins ils ne renseignent pas à propos du respect de l'insu des personnes qui analysent. Il en est de même concernant le respect de l'insu des évaluateurs, certains des auteurs comme Jurado-Lavanant & al. et Wertheimer & al. évoquent qui effectue les analyses et les tests, mais il n'y a pas de détails sur l'insu. Par conséquent, nous attribuons donc un risque de biais élevé à trois études sur cinq (Jurado-Lavanant & al., Wertheimer & al. et Fonseca & al.). Les 2 autres n'apportent pas suffisamment d'informations afin de déterminer la présence de biais (Robinson & al et Shiran & al.).

4.2.5. Biais de migration

Concernant le biais de migration nous avons attribué un risque faible à toutes les études car durant les 5 protocoles d'entraînement pliométrique il n'y pas eu de perdus de vue et il n'y a eu aucun sujet blessé au cours de ces protocoles.

4.2.6. Biais de notification

A propos du risque de biais de notification dans les études de Jurado-Lavanant & al., de Shiran & al. et de Wertheimer & al., les auteurs utilisent des analyses sanguines comme critère d'évaluation de l'apparition de DOMS. Jurado-Lavanant & al. ont utilisé la mesure de la concentration de créatine kinase dans le sang. Shiran & al. ont mesuré la concentration de créatine kinase et de lactate déshydrogénase dans le sang. Tandis que Wertheimer & al. ont utilisé la mesure de la concentration de créatine kinase, de lactate déshydrogénase et d'urée dans le sang. Ces outils de mesure permettent d'objectiver la présence de DOMS après la réalisation du protocole d'entraînement pliométrique. Ce sont des outils validés par d'autres études du même type, néanmoins la littérature actuelle a démontré que ces marqueurs n'étaient pas spécifiques à l'apparition de DOMS, par conséquent le risque de biais attribué est modéré. Concernant l'étude de Fonseca & al., les auteurs ont utilisé comme outil une échelle visuelle analogique afin de quantifier la présence de DOMS. Cet outil bien qu'il soit validé est une échelle d'évaluation subjective, cela va dépendre du patient, de son ressenti, de sa tolérance à la douleur, de ce fait nous attribuons également à cette étude un risque de biais modéré. Concernant l'étude de Robinson & al., les auteurs utilisent une échelle d'auto évaluation de la douleur qui est un outil d'évaluation subjectif, et un outil d'évaluation objectif afin de mesurer le ressenti de la douleur à l'aide d'un algomètre de pression. La littérature a démontré l'efficacité de l'algomètre pour la quantification de DOMS au niveau musculaire, nous attribuons donc à cette étude un risque de biais faible.

4.2.7. Autres biais

Nous avons déterminé d'autres biais pouvant diminuer la qualité des études. Concernant les populations, les 5 études ont inclus un nombre de sujets trop faible pour qu'il soit représentatif de la population générale. De plus Jurado-Lavanant & al., Wertheimer & al. n'ont inclus que des hommes dans leur étude, tandis que Robinson & al. n'ont inclus que des femmes. Les deux autres auteurs (Shiran & al. et Fonseca & al.) ont pris dans leur étude des sportifs masculins respectivement des lutteurs et des footballeurs. A propos de la comparaison des groupes, les études de Robinson & al. et Wertheimer & al. ne comprennent pas de groupe contrôle cela réduit la puissance de la comparaison. Dans l'étude de Shiran & al., l'intensité de

travail durant le protocole d'entraînement pliométrique différait en fonction des capacités de travail de chaque sujet déterminé en amont du protocole, cela peut entraîner un biais de confusion. Il en est de même pour les études de Fonseca & al. et de Jurado-Lavanant & al. où les sujets ne devaient pas effectuer d'activité 48h avant les tests, néanmoins les auteurs ne peuvent pas avoir la certitude que cela ait été respectée. Pour 2 études, il manque des informations concernant le protocole, Robinson & al. ne détaillent pas les types de sauts réalisés durant le cycle d'entraînement et Shiran & al. ne renseignent pas sur la profondeur et la température de l'eau ainsi que le type de revêtement pour le groupe au sol. Cela peut entraîner un biais d'analyse des résultats et cela empêche la bonne reproductibilité des protocoles.

4.3. Limites de notre revue

Une des limites de notre revue est liée au choix de notre critère principal. Dans la littérature existante les études comparant un programme d'entraînement pliométrique aquatique à un programme pliométrique au sol utilisent comme critère principal la performance. La notion de douleur est souvent utilisée comme critère secondaire. Ici le critère douleur est le critère principal, cela nous a restreint dans l'obtention d'un nombre conséquent d'études.

L'hétérogénéité des populations dans les articles est une seconde limite à notre étude. En effet les valeurs normales des marqueurs prédictifs de lésions musculaires sont différentes entre les sportifs et les non sportifs, la comparaison semble difficile et cela peut avoir une influence sur la fiabilité des résultats (44). De plus, il a été démontré qu'il existe une augmentation plus marquée de créatine kinase chez les sujets moins entraînés que chez les sujets entraînés (28,45).

Nous pouvons nous interroger sur le respect des caractéristiques d'entraînement pliométrique lors de son application dans le milieu aquatique. L'exercice dans l'eau modifie les paramètres mécaniques décrit par la pliométrie. Il réduit le temps de contact au sol, l'impact au sol lors de l'atterrissage et le travail excentrique, cela est également dépendant du niveau d'immersion du corps (46,47).

Une autre limite de notre étude peut être l'intérêt des auteurs. Les 5 études sont orientées dans le domaine sportif, les recherches ont pour but de quantifier l'apparition de DOMS après

un effort intense. Cependant, la notion de performance au sein de ces articles prend une part importante et cela modifie les objectifs. L'objectif de notre revue est de quantifier la présence de DOMS par rapport aux symptômes du point de vue paramédical.

Nous pouvons également nous interroger sur l'impact de l'apparition des DOMS, est-elle négative ou positive ? La littérature actuelle semble montrer une diminution des amplitudes articulaires et une diminution de l'atténuation des chocs, néanmoins elle montre que la réduction de présence de DOMS n'entraîne pas nécessairement une amélioration des performances (38,48).

En plus des limites et des biais des études que nous avons évoqués auparavant, il faut également prendre en compte les limites de notre revue. En ce qui concerne la méthodologie de travail, nous pouvons évoquer un manque d'expérience dans la réalisation de ce type de travail, dans la recherche de données scientifiques, dans l'analyse de données et la confrontation de données.

4.4. Les DOMS

Les auteurs utilisent différents outils de mesure permettant de quantifier la présence de DOMS. Pour rappel, trois études utilisent des analyses sanguines avec la mesure de marqueurs de lésions musculaires telles la créatine kinase, le lactate déshydrogénase et l'urée (33,35,36). Deux études utilisent des échelles numériques de la douleur et un algomètre de pression.

Concernant les analyses sanguines, les trois études utilisent la créatine kinase. Ce marqueur est présent et son taux augmente lors d'un travail excentrique comme le démontre l'article de Lee & al. Après une seule séance d'exercice excentrique à haute intensité les auteurs ont pu constater une augmentation significative de créatine kinase à 48h post entraînement avec un pic à 72h et une augmentation des DOMS entre 24h et 72h après l'entraînement (49). Cette conclusion est confirmée par Chatzinikolaou & al. qui constate dans son étude des dommages musculaires à court terme ainsi qu'une réponse inflammatoire se traduisant par l'apparition de DOMS de 0 à 72h post entraînement avec un pic à 24h associée à une augmentation du taux de créatine kinase et de lactate déshydrogénase à 24h et jusqu'à 72h suite à un entraînement de

pliométrie intense (10). Concernant le taux de concentration d'urée, il est augmenté lors d'un effort et il peut rester important durant 24 à 48h après l'effort (50). Dans le domaine sportif la créatine kinase et le lactate déshydrogénase sont de bons indicateurs de surveillance de l'état des muscles après un entraînement intensif. En temps normal, ces marqueurs ont un taux très bas et augmentent de manière plus ou moins importante après l'effort, il existe une corrélation entre l'intensité et la libération de CK (25,28). Une autre cause de l'augmentation de ces marqueurs peut être l'adaptation musculaire lors de l'entraînement (28). Il existe un phénomène d'habituation ou de protection qui atténue les phénomènes douloureux lorsqu'il y a une répétition des efforts. A la suite de plusieurs entraînements de pliométrie, les structures musculaires s'adaptent à l'effort physique et les symptômes sont réduits. Ce phénomène est présent dans certaines études de notre revue et nous observons une augmentation moins importante des DOMS entre deux mesures. La pliométrie dans l'eau respecte les caractéristiques de la pliométrie classique tout en réduisant les contraintes et l'intensité. Elle semble être une méthode de travail intéressante pour débiter un travail pliométrique, permettre au corps de s'habituer et d'initier le patient ou le sportif à ce type d'entraînement.

La créatine kinase, le lactate déshydrogénase et l'urée sont considérés comme des marqueurs prédictifs. Néanmoins ces marqueurs sont-ils spécifiques à l'apparition de microlésions musculaires et au développement de la force musculaire ? En plus des microlésions dues à la réalisation d'un effort intense plusieurs éléments peuvent augmenter le taux de concentration de créatine kinase tels l'infarctus du myocarde, la chirurgie, l'hyperthermie maligne et la rhabdomyolyse (51). Des auteurs ont réalisé des études ayant comme objectifs de constater l'existence d'un effet pendant un effort prolongé sur des facteurs biologiques. Une étude a montré une augmentation significative du taux de concentration de créatine kinase et de lactate déshydrogénase après la réalisation d'un marathon (52). Une seconde étude a montré une augmentation significative du taux de concentration de CK et de LDH durant un ultramarathon (53). Des phénomènes métaboliques peuvent se combiner aux phénomènes mécaniques. L'augmentation des biomarqueurs pendant un effort prolongé peut entraîner des phénomènes douloureux au niveau musculaire autre que des microlésions dues à une production de force. De même pour le taux de concentration d'urée, il peut être augmenté par une réduction du débit sanguin rénal dû à une carence en volume de liquide et/ou dû à une augmentation du catabolisme des protéines (50).

L'algomètre de pression est utilisé dans une seule étude sur les cinq (34). Cet outil présente un degré de fiabilité élevé, une bonne reproductibilité et une stabilité des résultats obtenus entre deux mesures, cela a notamment été démontré au niveau des trigger points cranio-cervicaux (54,55). Néanmoins cet outil de mesure est une évaluation subjective, elle peut être influencée par la tolérance à la douleur, la répartition de la masse graisseuse corporelle et la variabilité inter évaluateur (34,56). Il en est de même pour les échelles de douleur.

4.5. Intérêt pour la pratique de la profession

La pliométrie aquatique semble être un bon outil pour le masseur-kinésithérapeute. Concernant le versant sportif, le travail dans l'eau diminue les forces d'impact au sol, cela contribue à la gestion des mécanismes traumatisants au niveau articulaire et musculaire. Les DOMS apparaissent suite à un entraînement musculaire intense et inhabituel, ils vont perdurer jusqu'à 2 et 5 jours après l'effort avec des pics douloureux entre 48 et 72h. Ce sont souvent les effets d'un exercice de renforcement musculaire en mode excentrique, c'est un état qui est retrouvé après un entraînement pliométrique dans l'eau et au sol. Les phénomènes douloureux vont être présents et seront les mêmes pour les deux types d'entraînement. La pliométrie est une méthode spécifique qui est utilisée dans le sport et dans la rééducation pour augmenter les performances. Cet entraînement doit concourir à l'objectif premier, il ne doit en aucun cas impacter celui-ci. Un programme de pliométrie dans l'eau permet de réduire ce phénomène de douleurs retardées, ceci aura une influence sur le temps de récupération entre deux séances, cela permet une augmentation du volume et de la fréquence de travail.

Un entraînement en pliométrie aquatique peut être une alternative très intéressante à la pliométrie pour le travail des paramètres de performance, de gestion des DOMS, à plus long terme la gestion et la récurrence de blessures. Cela permettrait une reprise plus précoce des exercices à intensité élevée et donc de l'activité.

Concernant le versant de la prise en charge rééducative, la pliométrie aquatique peut être intégrée stratégiquement en fonction de la phase de traitement, des indications et des contre-indications liées à la pathologie. Elle pourra notamment être mise en place lors de la reprise d'activité et/ou de réathlétisation tout en évitant des traumatismes trop importants. La

pliométrie crée des microlésions au niveau musculaire. Durant la phase de rééducation, l'un des objectifs est la cicatrisation tissulaire afin de permettre la reprise d'une activité intensive sans entraîner de nouvelles lésions. Pour cela les masseurs-kinésithérapeutes disposent de plusieurs outils permettant de réduire les DOMS. Ils peuvent utiliser les étirements, le massage ou la cryothérapie, néanmoins ces techniques de traitement ne sont pas totalement validées dans la littérature actuelle. L'utilisation de la pliométrie dans l'eau peut être intéressante en prévention c'est-à-dire réduire l'apparition de DOMS et peut être utilisée pendant la phase de cicatrisation afin d'effectuer une réactivation musculaire avec une intensité moins élevée, un poids du corps allégé et des forces d'impact moins importantes permettant de préserver les structures musculosquelettiques.

Néanmoins cela demande des infrastructures en conséquence, ce qui peut être difficile notamment en milieu libéral. Cela exige également des connaissances de la part du masseur-kinésithérapeute concernant les propriétés de l'eau et tout ce qui en découle sur la mécanique humaine.

5. CONCLUSION

En conclusion, les propriétés de l'eau modifient le travail pliométrique en diminuant les contraintes pendant la phase excentrique, la phase d'amortissement et en les augmentant pendant la phase concentrique. Ces caractéristiques peuvent être influencées par le niveau de l'eau, le type de sol, l'intensité d'entraînement et le type de saut. Les résultats montrent une présence moins importante des DOMS pendant les protocoles d'entraînement pliométrique dans l'eau, néanmoins ces résultats ne sont pas toujours significatifs.

Au sein des études, les analyses sanguines sont utilisées majoritairement comme indicateur de DOMS. Cependant cet outil ne s'avère pas être le moyen le plus spécifique. Des échelles de douleurs et un algomètre de pression semblent être des outils de mesure plus spécifiques pour quantifier les DOMS, il serait intéressant de réaliser une revue de littérature concernant ce même sujet en prenant comme seul outil de comparaison les échelles de douleurs et l'algomètre.

Au vu de l'hétérogénéité des études incluent dans notre revue, il serait intéressant d'effectuer une nouvelle revue de la littérature sur ce sujet comprenant des études avec le même protocole d'entraînement, afin d'affiner les résultats et permettre de réaliser davantage de liens. Pour cela il faudra attendre d'autres publications sur le sujet.

Au terme de notre revue, il s'avère qu'un entraînement de pliométrie dans l'eau produit moins de DOMS comparativement à un entraînement pliométrique au sol. Cette technique s'avère être une solution intéressante pour le masseur-kinésithérapeute et elle peut être envisagée comme une technique de premier ordre au même titre que la pliométrie au sol.

Bibliographie

1. Cuoco A, Tyler TF. 26 - Plyometric Training and Drills. In: Andrews JR, Harrelson GL, Wilk KE, éditeurs. *Physical Rehabilitation of the Injured Athlete (Fourth Edition)*. Philadelphia: W.B. Saunders; 2012. p. 571-95.
2. Cometti G, Cometti D. La pliométrie : Méthode de restitution d'énergie au service de la performance sportive. Chiron; 2012. 256 p. (Sport pratique).
3. Sáez-Sáez de Villarreal E, Requena B, Newton RU. Does plyometric training improve strength performance? A meta-analysis. *J Sci Med Sport*. sept 2010;13(5):513-22.
4. Behrens M, Mau-Moeller A, Mueller K, Heise S, Gube M, Beuster N, et al. Plyometric training improves voluntary activation and strength during isometric, concentric and eccentric contractions. *Journal of Science and Medicine in Sport*. févr 2016;19(2):170-6.
5. Komi PV. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *J Biomech*. oct 2000;33(10):1197-206.
6. Chmielewski TL, Myer GD, Kauffman D, Tillman SM. Plyometric Exercise in the Rehabilitation of Athletes: Physiological Responses and Clinical Application. *J Orthop Sports Phys Ther*. mai 2006;36(5):308-19.
7. Rezaimanesh D, Amiri-Farsani P, Saidian S. The effect of a 4 week plyometric training period on lower body muscle EMG changes in futsal players. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 1 janv 2011;15:3138-42.
8. Hotfiel T, Freiwald J, Hoppe M, Lutter C, Forst R, Grim C, et al. Advances in Delayed-Onset Muscle Soreness (DOMS): Part I: Pathogenesis and Diagnostics. *Sportverletz Sportschaden*. déc 2018;32(04):243-50.
9. Clarkson PM, Tremblay I. Exercise-induced muscle damage, repair, and adaptation in humans. *Journal of Applied Physiology*. 1 juill 1988;65(1):1-6.
10. Chatzinikolaou A, Fatouros IG, Gourgoulis V, Avloniti A, Jamurtas AZ, Nikolaidis MG, et al. Time Course of Changes in Performance and Inflammatory Responses After Acute Plyometric Exercise: *Journal of Strength and Conditioning Research*. mai 2010;24(5):1389-98.
11. Kemoun G, Watelain E, Carette P. Hydrokinésithérapie. *EMC - Kinésithérapie - Médecine physique - Réadaptation*. janv 2006;2(3):1-28.
12. Collot S, Griveaux H. Principes physiques en balnéothérapie. *Kinésithérapie, la Revue*. 1 oct 2007;7(70):21-7.
13. Alexandre D, Alexandre G, Kenny G. Pliométrie en milieu aquatique versus au sol : influence sur la performance de saut. *KS kinésithérapie scientifique*. déc 2016;(582):p.19-28.

14. Komi PV. Stretch-Shortening Cycle. In: Komi PV, éditeur. *Strength and Power in Sport*. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd; 2003. p. 184-202.
15. Martin V, Nicol C. Influences immédiates et retardées d'exercices de type excentrique ou cycle étirement-détente. *Science & Motricité*. 2010;(70):69-75.
16. Komi P. *Strength and Power in Sport*. Chichester: John Wiley & Sons; 2008. p. 281-287.
17. Hewett TE, Stroupe AL, Nance TA, Noyes FR. Plyometric training in female athletes. Decreased impact forces and increased hamstring torques. *Am J Sports Med*. déc 1996;24(6):765-73.
18. Ben Jeddou I, Yahia AR, Rahali H, Dziri C, Ben Salah FZ. Effets de l'entraînement pliométrique sur les propriétés mécaniques et géométriques du système muscle-tendon des fléchisseurs plantaires. *Science & Sports*. 1 oct 2018;33(5): p.203-19.
19. Coudreuse J-M, Dupont P, Nicol C. Douleurs musculaires post-effort. *Journal de Traumatologie du Sport*. juill 2007;24(2):103-10.
20. Jamurtas A, Fatouros I, Buckenmeyer P, Kokkinidis E, Taxildaris K, Kambas A, et al. Effects of Plyometric Exercise on Muscle Soreness and Plasma Creatine Kinase Levels and Its Comparison with Eccentric and Concentric Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*. févr 2000;14(1):68-74.
21. Cohen J, Cantecorp K. Les DOMS : compréhension d'un mécanisme en vue d'un traitement masso-kinésithérapique préventif. *Kinésithérapie, la Revue*. mai 2011;11(113):15-20.
22. Nicol C, Kuitunen S, Kyröläinen H, Avela J, Komi PV. Effects of long- and short-term fatiguing stretch-shortening cycle exercises on reflex EMG and force of the tendon-muscle complex. *Eur J Appl Physiol*. nov 2003;90(5-6):470-9.
23. Armstrong RB, Warren GL, Warren JA. Mechanisms of Exercise-Induced Muscle Fibre Injury: *Sports Medicine*. sept 1991;12(3):184-207.
24. Lewis PB, Ruby D, Bush-Joseph CA. Muscle Soreness and Delayed-Onset Muscle Soreness. *Clinics in Sports Medicine*. avr 2012;31(2):255-62.
25. Brancaccio P, Limongelli, F M MN. Monitoring of serum enzymes in sport. *British Journal of Sports Medicine*. 1 févr 2006;40(2):96-7.
26. Butova OA, Masalov SV. Lactate dehydrogenase activity as an index of muscle tissue metabolism in highly trained athletes. *Hum Physiol*. janv 2009;35(1):127-9.
27. Hartmann U, Mester J. Training and overtraining markers in selected sport events: *Medicine & Science in Sports & Exercise*. janv 2000;209.
28. Brancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM. Creatine kinase monitoring in sport medicine. *British Medical Bulletin*. 6 févr 2007;81-82(1):209-30.
29. Chevutschi A, Dengremont B, Linsel G, Thevenon A. La balnéothérapie au sein de la littérature : propriétés de l'eau. *Kinésithérapie, la Revue*. 1 oct 2007;7(70):14-20.

30. Chevutschi A, Dengremont B, Lensele G, Pardessus V, Thevenon A. La balnéothérapie au sein de la littérature: Applications thérapeutiques. *Kinésithérapie, la Revue*. 1 nov 2007;7(71):14-23.
31. Chu DA, Shiner J. Chapter 14 - Plyometrics in Rehabilitation. In: Donatelli R, éditeur. *Sports-Specific Rehabilitation*. Saint Louis: Churchill Livingstone; 2007. p. 233-46.
32. Claus B, Michiels B. La valeur de l'outil « Risque de biais » de la Cochrane Collaboration dans les synthèses méthodiques. *Minerva*. 2017;16(4):104-6.
33. Jurado-Lavanant A, Alvero-Cruz JR, Pareja-Blanco F, Melero-Romero C, Rodríguez-Rosell D, Fernandez-Garcia JC. The Effects of Aquatic Plyometric Training on Repeated Jumps, Drop Jumps and Muscle Damage. *Int J Sports Med*. oct 2018;39(10):764-72.
34. Robinson LE, Devor ST, Merrick MA, Buckworth J. The effects of land vs. aquatic plyometrics on power, torque, velocity, and muscle soreness in women. *J Strength Cond Res*. févr 2004;18(1):84-91.
35. Mohammad Yaser Shiran , Mohammad Reza Kordi , Vahid Ziaee , Ali-Asghar Ravasi and Mohammad Ali Mansournia. The Effect of Aquatic and Land Plyometric Training on Physical Performance and Muscular Enzymes in Male Wrestlers. *Research journal of Biological Sciences*. 2008;3:457-61.
36. Wertheimer V, Antekolovic L, Matkovic BR. Muscle Damage Indicators after Land and Aquatic Plyometric Training Programmes. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*. 2018;7(1):13-9.
37. Fonseca RT, Nunes RDAM, Castro JBP de, Lima VP, Silva SG, Dantas EHM, et al. The effect of aquatic and land plyometric training on the vertical jump and delayed onset muscle soreness in Brazilian soccer players. *Human Movement Special Issues*. 2017;2017(5):63-70.
38. Skurvydas A, Kamandulis S, Stanislovaitis A, Streckis V, Mamkus G, Drazdauskas A. Leg Immersion in Warm Water, Stretch-Shortening Exercise, and Exercise-Induced Muscle Damage. *Journal of Athletic Training*. nov 2008;43(6):592-9.
39. Nadler SF, Weingand K, Kruse RJ. The physiologic basis and clinical applications of cryotherapy and thermotherapy for the pain practitioner. *Pain Physician*. juill 2004;7(3):395-9.
40. Miller M, Cheatham C, Porter A, Ricard M, Hennigar D, Berry D. Chest- and Waist-Deep Aquatic Plyometric Training and Average Force, Power, and Vertical-Jump Performance. *International Journal of Aquatic Research and Education*. 1 mai 2007;1(2).
41. Arazi H, Eston R, Asadi A, Roozbeh B, Saati Zarei A. Type of Ground Surface during Plyometric Training Affects the Severity of Exercise-Induced Muscle Damage. *Sports*. 1 mars 2016;4(1):15.
42. Triplett NT, Colado JC, Benavent J, Alakhdar Y, Madera J, Gonzalez LM, et al. Concentric and impact forces of single-leg jumps in an aquatic environment versus on land. *Med Sci Sports Exerc*. sept 2009;41(9):1790-6.

43. Higgins JPT, Altman DG, Gotzsche PC, Juni P, Moher D, Oxman AD, et al. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ*. 18 oct 2011;343(oct18 2):d5928-d5928.
44. Mougios V. Reference intervals for serum creatine kinase in athletes. *British Journal of Sports Medicine*. 1 oct 2007;41(10):674-8.
45. Maxwell JH, Bloor CM. Effects of Conditioning on Exertional Rhabdomyolysis and Serum Creatine Kinase after Severe Exercise. *Enzyme*. 1981;26(4):177-81.
46. Ruschel C, Hauptenthal A, Hubert M, de Brito Fontana H, Roesler H. Loading forces in shallow water running in two levels of immersion. *J Rehabil Med*. 2010;42(7):664-9.
47. Louder TJ, Searle CJ, Bressel E. Mechanical parameters and flight phase characteristics in aquatic plyometric jumping. *Sports Biomechanics*. 2 juill 2016;15(3):342-56.
48. Cheung K, Hume PA, Maxwell L. Delayed Onset Muscle Soreness: Treatment Strategies and Performance Factors. *Sports Medicine*. 2003;33(2):145-64.
49. Lee J, Goldfarb AH, Rescino MH, Hegde S, Patrick S, Apperson K. Eccentric exercise effect on blood oxidative-stress markers and delayed onset of muscle soreness: *Medicine & Science in Sports & Exercise*. mars 2002;34(3):443-8.
50. Warburton DER. Biochemical changes as a result of prolonged strenuous exercise. *British Journal of Sports Medicine*. 1 août 2002;36(4):301-3.
51. Kress T, Krueger D, Ziccardi S. Creatine kinase: An assay with muscle. *Nursing*. oct 2008;38(10):62.
52. Smith JE. Effects of prolonged strenuous exercise (marathon running) on biochemical and haematological markers used in the investigation of patients in the emergency department. *British Journal of Sports Medicine*. 1 juin 2004;38(3):292-4.
53. Fallon KE, Sivyer G, Sivyer K, Dare A. The biochemistry of runners in a 1600 km ultramarathon. *British Journal of Sports Medicine*. 1 août 1999;33(4):264-9.
54. Antonaci, Trond Sand, Guilherme A. F. PRESSURE ALGOMETRY IN HEALTHY SUBJECTS: INTER-EXAMINER VARIABILITY. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*. 2 avr 1998;30(1):3-8.
55. Chesterton LS, Barlas P, Foster NE, Baxter DG, Wright CC. Gender differences in pressure pain threshold in healthy humans: *Pain*. févr 2003;101(3):259-66.
56. Fransoo P. L'algomètre de pression. *Kinésithérapie, la Revue*. nov 2009;9(95):44-7.

ANNEXES

ANNEXE I : Fiches de lecture

ANNEXE II : Diagramme de flux

ANNEXE III : Récapitulatif des résultats performance / DOMS

ANNEXE IV : Récapitulatif des biais de chaque étude

ANNEXE I : Fiches de lecture

Fiche de lecture N°1 :

Titre : The Effects of Aquatic Plyometric Training on Repeated Jumps, Drop Jumps and Muscle Damage

Auteur : A. Jurado-Lavanant, J. R. Alvero-Cruz, F. Pareja-Blanco, C. Melero-Romero, D. Rodriguez-Rosell, J. C. Fernandez-Garcia

Année : 2018

Bibliographie : Jurado-Lavanant A, Alvero-Cruz JR, Pareja-Blanco F, Melero-Romero C, Rodríguez-Rosell D, Fernandez Garcia JC. The Effects of Aquatic Plyometric Training on Repeated Jumps, Drop Jumps and Muscle Damage. Int J Sports Med. oct 2018;39(10):764-72.

Type d'étude : Etude Clinique randomisée

Intervention : Randomisation en trois groupes : pliométrie aquatique (n=20), pliométrie au sol (n=20), groupe contrôle (n=25). Pliométrie au sol rigide et pliométrie aquatique dans une piscine de 2m20 et à 27°C.

Le programme d'entraînement : Deux séances par semaine (jours non consécutifs) pendant 10 semaines, même nombre de séries, même temps de repos, augmentation de l'intensité de 5 sauts par semaine. Le programme est composé de 10 séries de 10 sauts verticaux.

Les tests : 2 répétitions séparées par 30 s de repos

- ❖ Drop jump 30 cm (DJ30) : départ sur une boxe de 30 cm de hauteur. Position de saut debout avec les mains sur les hanches, les genoux et chevilles tendus.
- ❖ Drop jump 50 cm (DJ50) : départ sur une boxe de 50 cm de hauteur. Position de saut debout avec les mains sur les hanches, les genoux et chevilles tendus.
- ❖ Répétition de sauts verticaux (RJ) : consiste en une répétition de 10 sauts sans pause avec une force maximale et le plus rapidement possible avec les genoux et hanches en extension, avec les mains sur les hanches.

Les mesures : ergo jump (bosco) qui mesure le temps en l'air, mesure de l'activité CK dans le sang. Ces mesures ont été déterminées avant l'exercice (T1) et 48 h après la session 10 (T2) et la session 20 (T3).

Population : 65 jeunes hommes actifs et en bonne santé, sujets reposés et à jeun

Comparateurs : la hauteur de saut via l'ergo jump et la concentration en créatine kinase (CK) dans le sang.

Résultats :

- ❖ Aucune différence significative entre les groupes n'a été trouvée à T1 pour aucune des variables analysées.
- ❖ Le programme d'entraînement a entraîné une augmentation significative des performances de la réactivité des sauts pour la pliométrie au sol (PT) (RJ, DJ30 et DJ50), tandis que la pliométrie aquatique (APT) et le groupe contrôle (CG) n'ont pas montré d'améliorations significatives.
- ❖ Pas de résultats significatifs concernant la présence de CK dans le sang en fonction du groupe de test et de la période d'évaluation mais la PT semble produire plus de CK que le CG, et l'APT semble produire plus de CK que le CG, alors que les différences entre APT et PT ne sont pas concluantes.

Niveau de preuve 2 (Etude comparative randomisée, faible puissance)

Grade B selon grille HAS

Fiche de lecture N°2 :

Titre : The effects of land vs. Aquatic plyometrics on power, torque, velocity, and muscle soreness in women

Auteur : Leah E. Robinson, Steven T. Devor, Mark A. Merrick, And Janet Buckworth

Année : 2004

Bibliographie: Robinson LE, Devor ST, Merrick MA, Buckworth J. The effects of land vs. aquatic plyometrics on power, torque, velocity, and muscle soreness in women. J Strength Cond Res. févr 2004;18(1):84-91.

Type d'étude : Etude Clinique randomisée

Intervention : Randomisation en 2 groupes : pliométrie au sol (n=15) et pliométrie aquatique (n=16), pas de groupe contrôle. Programme d'entraînement similaire pour les deux groupes. Pliométrie au sol dans un gymnase et pliométrie aquatique dans une piscine (profondeur entre 1,2m et 1,3m, température entre 25° et 26°C)

Le programme d'entraînement : 3 jours par semaine pendant 8 semaines, chaque séance dure 65min (comprenant l'échauffement et la récupération). Le programme d'entraînement est composé de 3 à 5 séries de 10 à 20 répétitions de 10 exercices. Les séries et les répétitions ont été augmentées après 2 semaines et à nouveau après 5 semaines d'entraînement.

Les tests : 10 exercices comprenant une série de sauts conçus pour le développement de la puissance explosive et la production de force des extenseurs du genou (droit fémoral), des fléchisseurs du genou (biceps fémoral).

Les mesures :

- ❖ La détente verticale (test de Sargent) : mesure la différence de hauteur en centimètres entre la position debout et après avoir effectué un squat jump, 3 squats jumps effectués avec un temps de pause d'une minute entre chaque saut.
- ❖ La force (test de résistance musculaire isocinétique)
- ❖ La vitesse (test de sprint de 40m) : mesure de la vitesse, 3 sprints de 40m effectués avec un temps de pause de 3 minutes entre chaque sprint.
- ❖ La douleur musculaire et la sensibilité à la douleur du droit fémoral, biceps fémoral et des gastrocnémiens : évalué au départ et lors de chaque augmentation de l'intensité

d'entraînement (semaine 3 et 6 d'entraînement). Des mesures ont été prises 0, 48 et 96h après un entraînement grâce à une échelle ordinaire d'auto évaluation établie allant de 1 (pas de douleur) à 10 (très, très douloureuse). Utilisation d'un algomètre pour évaluer la sensibilité à la douleur. La sensibilité de la douleur à l'inconfort a été évaluée au milieu de chaque muscle spécifique de la jambe dominante du sujet.

Population : 32 femmes en bonne santé, non enceintes, sportives régulières et pas de traumatismes ou de pathologies chroniques depuis les 6 derniers mois, avec une moyenne d'âge de 20,2 années.

Comparateurs : La détente verticale, le couple de force, la vitesse, la douleur musculaire et la sensibilité à la douleur (une échelle d'auto évaluation et un algomètre).

Résultats :

- ❖ Augmentation significative de toutes les variables mesurées dans les deux groupes (couple, force, vitesse).
- ❖ Il existe une corrélation significative de la douleur musculaire entre les groupes en fonction des muscles et de la semaine de mesure. Douleur musculaire égale immédiatement après l'entraînement. Douleurs supérieures pour le groupe de pliométrie sol à 48 et 96h post-entraînement pour chaque muscle pour la première mesure, pour la mesure à 3 semaines et à 6 semaines.
- ❖ Il n'existe pas de différences significatives concernant la sensibilité à la douleur entre les deux groupes. Néanmoins il y a une augmentation significative de la perception de la sensibilité à la douleur concernant les gastrocnémiens, le droit fémoral et le biceps fémoral dans le groupe d'entraînement pliométrique au sol de 0 à 48h puis lors de la première augmentation de l'intensité et lors de la deuxième augmentation de l'intensité.

Niveau de preuve 2 (Etude comparative randomisée, faible puissance)

Grade B selon grille HAS

Fiche de lecture N°3 :

Titre : The Effect of Aquatic and Land Plyometric Training on Physical Performance and Muscular Enzymes in Male Wrestlers

Auteur : Shiran, M. Y. ; Kordi, M. R. ; Ziaee, V. ; Ravasi, A. A. ; Mansournia, M. A.

Année : 2008

Bibliographie : Mohammad Yaser Shiran , Mohammad Reza Kordi , Vahid Ziaee , Ali-Asghar Ravasi and Mohammad Ali Mansournia. The Effect of Aquatic and Land Plyometric Training on Physical Performance and Muscular Enzymes in Male Wrestlers. Research journal of Biological Sciences. 2008 ;3 :457-61

Type d'étude : Etude Clinique randomisée

Intervention : Randomisation en 3 groupes : pliométrie au sol (n=7), pliométrie aquatique (n=7) et groupe contrôle (n=7). L'intensité et le contenu de chaque entraînement sont déterminés selon les aptitudes du sujet.

Le programme d'entraînement : 3 séances par semaine pendant 5 semaines. Une séance dure 55min et comprend 30 répétitions avec 30 à 45 secondes de pause entre chaque série et 2 minutes de pause entre chaque saut.

Les tests : 4 exercices de pliométrie : drop jumps, star jumps, squat jump, countermovement jump

Les mesures : Prise de sang afin de déterminer le taux de lactate déshydrogénase (LDH) et de créatine kinase (CK). Mesure de la performance : la force, la vitesse, l'agilité, la fatigue.

Population : 21 lutteurs masculins avec un minimum de 4 ans de pratique régulière.

Comparateurs : Taux de LDH et CK dans le sang. Paramètres de performance.

Résultats :

- ❖ Pas de différence significative entre les sujets durant la phase de pré-test
- ❖ Augmentation significative de la force dans les deux groupes expérimentaux. Augmentation significative de la vitesse pour le groupe de pliométrie au sol. Pour les autres paramètres pas de différence significative.

- ❖ Augmentation du taux de CK dans les deux groupes après le programme d'entraînement, augmentation plus importante pour le groupe pliométrie au sol. Pas de différence significative du taux de CK entre le groupe de pliométrie aquatique et le groupe contrôle. Augmentation significative du taux de CK du groupe de pliométrie au sol par rapport au groupe contrôle.
- ❖ Diminution non significative du taux de LDH dans les trois groupes.

Niveau de preuve 2 (Etude comparative randomisée, faible puissance)

Grade B selon grille HAS

Fiche de lecture N°4 :

Titre : Muscle Damage Indicators after Land and Aquatic Plyometric Training Programmes

Auteur : Vlatka Wertheimer, Ljubomir Antekolovic, Branka R. Matkovic

Année : 2018

Bibliographie : Wertheimer V, Antekolovic L, Matkovic BR. Muscle Damage Indicators after Land and Aquatic Plyometric Training Programmes. Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine. 2018 ;7(1) :13-9

Type d'étude : Etude Clinique randomisée

Intervention : Randomisation en 2 groupes : pliométrie au sol (n=10) et pliométrie aquatique (n=10). Pliométrie au sol sur sol rigide avec les mains sur les hanches, pliométrie aquatique dans une piscine l'eau au niveau des hanches avec les mains sur les hanches.

Le programme d'entraînement : 2 séances par semaine pendant 8 semaines représentant 16 séances d'entraînement

Les tests : le programme est composé d'Ankle jumps, de Countermovement jumps ; de Drop jumps (30 cm), d'ankle jump sur une jambe, de countermovement jumps sur une jambe, de saut sur une jambe, de sauts alternés, de sauts latéraux sur une jambe, de sauts latéraux avec 150 à 200 contacts au sol.

Les mesures : analyse de sang (veine ulnaire), des taux de créatine kinase (CK), de lactate déshydrogénase (LDH) et d'urée (SU) réalisée quatre fois, avant/après la première séance et avant/après la dernière séance. Une prise de sang une heure après l'entraînement et une prise de sang vingt-quatre heures après l'entraînement. Mesure de la performance via six paramètres.

Population : 20 hommes étudiants en école de kinésiologie, en forme physiquement, ne présentant pas de blessure durant les six derniers mois

Comparateurs : Taux de créatine kinase, de lactate déshydrogénase, d'urée dans le sang

Résultats :

- ❖ Pas de blessure durant les tests.
- ❖ Concernant la CK : augmentation du taux de CK dans le sang à la première séance et dernière séance pour le groupe pliométrie au sol. Pour le groupe pliométrie aquatique différence significative du taux de CK entre avant et après l'entraînement mais avec un taux moins élevé que pour le groupe pliométrie au sol. Une seule différence significative entre les groupes qui concerne le taux de CK après la dernière séance d'entraînement.
- ❖ Concernant le LDH : pas de différence significative du taux de LDH entre les deux groupes et avant/après la première et dernière séance.
- ❖ Concernant le SU : différence significative après la première séance d'entraînement pliométrique au sol. Pas de différence significative entre les deux groupes.

Niveau de preuve 2 (Etude comparative randomisée, faible puissance)

Grade B selon grille HAS

Fiche de lecture N°5 :

Titre : The effect of aquatic and land plyometric training on the vertical jump and delayed onset muscle soreness in Brazilian soccer players.

Auteur : Renato Tavares Fonseca, Rodolfo De Alkmim Moreira Nunes, Juliana Brandão Pinto De Castro, Vicente Pinheiro Lima, Sérgio Gregorio Silva, Estélio Henrique Martin Dantas, Rodrigo Gomes De Souza Vale

Année : 2017

Bibliographie : Fonseca RT, Nunes RDAM, Castro JBP de, Lima VP, Silva SG, Dantas EHM, et al. The effect of aquatic and land plyometric training on the vertical jump and delayed onset muscle soreness in Brazilian soccer players. Human Movement Special Issues. 2017 ;2017(5) :63-70

Type d'étude : Etude Clinique randomisée

Intervention : Randomisation en 3 groupes : pliométrie au sol (LPT) (n=8), pliométrie aquatique (APT) (n=8) et groupe contrôle (CG) (n=8). Pliométrie au sol s'est déroulée sur un terrain de football, pliométrie aquatique s'est déroulée dans une piscine d'1m de profondeur avec une température de 28°C.

Le programme d'entraînement : 2 séances par semaine (non consécutives) pendant 6 semaines avec augmentation progressive de l'intensité.

Les tests : un drop jump 50 cm : position de départ jambes tendus et les mains sur les hanches puis enchaînement d'un saut sur la plateforme de contact pour la pliométrie au sol. Pour la pliométrie aquatique drop jump à partir d'un banc de 50cm puis enchaînement d'un saut sur un second banc de 50cm.

Les mesures : plateforme de contact Axon mesurant la hauteur de saut pour la pliométrie au sol. Une échelle visuelle analogique afin de quantifier les DOMS des muscles extenseurs de genoux.

Population : 24 footballeurs entre 16 et 18 ans ayant pratiqués un entraînement continu pendant les 3 derniers mois, ne présentant pas de blessure au genou au cours des 2 dernières années.

Comparteurs : la hauteur de saut via la plateforme de contact Axon, une échelle visuelle analogique pour quantifier la présence de DOMS

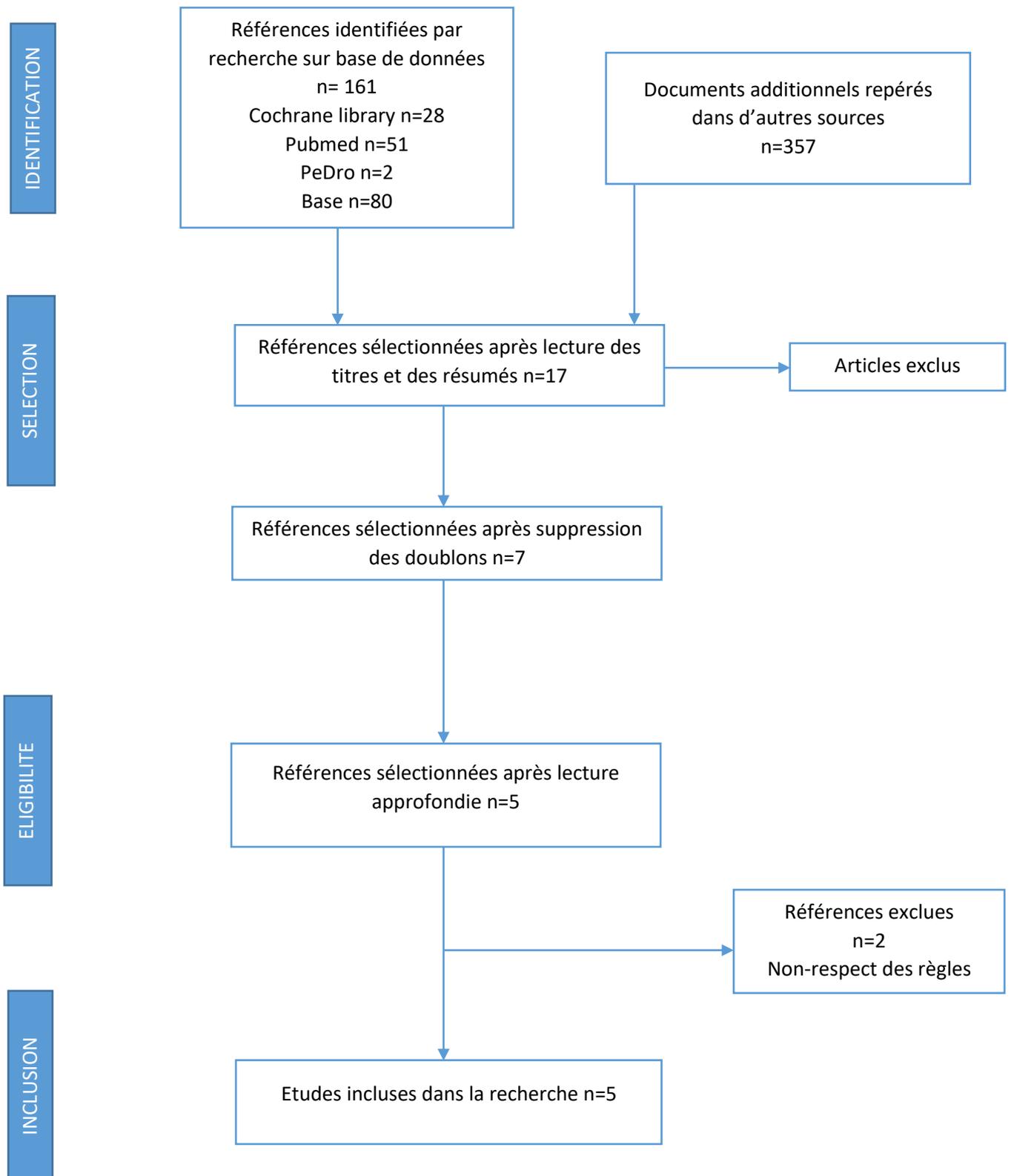
Résultats :

- ❖ Augmentation significative de la détente verticale pour les deux groupes expérimentaux, augmentation significative de la détente verticale après les tests des deux groupes expérimentaux comparée au groupe contrôle.
- ❖ Diminution significative du temps de contact au sol du groupe pliométrie aquatique. Diminution significative du temps de contact du groupe pliométrie comparée au groupe pliométrie au sol et au groupe contrôle.
- ❖ Diminution significative de la présence de DOMS après les tests pour le groupe pliométrie aquatique comparée au groupe pliométrie au sol.

Niveau de preuve 2 (Etude comparative randomisée, faible puissance)

Grade B selon grille HAS

ANNEXE II : Diagramme de flux



ANNEXE III : Récapitulatif des résultats performance / DOMS

Etudes Corrélation	Jurado- Lavanant & al.	Robinson LE & al.	Shiran LE & al.	Wertheimer V & al.	Fonseca RT & al.
Augmentation plus importante des performances et des DOMS					
Augmentation plus importante des performances et augmentation moins importante des DOMS					
Augmentation moins importante des performances et augmentation plus importante des DOMS					
Augmentation moins importante des performances et des DOMS					
Augmentation moins importante des performances et diminution moins importante des DOMS					
Augmentation plus importante des performances et diminution plus importante des DOMS					
Augmentation moins importante des performances et diminution plus importante des DOMS					

Groupe pliométrie
au sol 

Groupe pliométrie
aquatique 

ANNEXE IV : Récapitulatif des biais de chaque étude

	Biais de sélection	Biais d'attribution	Biais de performance	Biais de détection	Biais de migration	Biais de notification	Autres biais
Jurado-Lavanant & al. (2018)							
Robinson LE & al. (2004)							
Shiran MY & al. (2008)							
Wertheimer V & al. (2018)							
Fonseca RT & al. (2017)							

Risque de biais faible 	Risque de biais modéré 	Risque de biais élevé 	Risque de biais indéterminé
----------------------------	----------------------------	---------------------------	---------------------------------

Les DOMS et la pliométrie aquatique : revue de la littérature

Introduction : La pliométrie est une méthode de renforcement musculaire utilisée dans le sport et dans la rééducation. Cette technique permet un gain de performance cependant elle peut être source de traumatismes et de blessures. Les DOMS sont aussi une des conséquences d'un travail pliométrique et peuvent altérer la rééducation ou la performance sportive. Le travail dans l'eau a tendance à se développer et s'intègre de plus en plus dans le domaine sportif et dans la rééducation. Nous tenterons de déterminer l'intérêt d'un entraînement pliométrique dans l'eau en termes de prophylaxie des DOMS.

Matériel et Méthode : Nous avons réalisé une recherche d'articles dans la littérature jusqu'au mois d'avril 2020 sur les bases de données Cochrane, Medline, PeDro et Base. Nous avons inclus, des études randomisées avec des sujets sains, qui comparent un entraînement de pliométrie dans l'eau à un entraînement pliométrique au sol et qui comprennent comme critère primaire la mesure de DOMS. Nous avons pour objectif d'évaluer les différences d'apparitions de DOMS entre ces deux méthodes d'entraînements. Nous avons analysé les articles retenus en leur attribuant un grade et en déterminant des biais d'étude selon la grille Cochrane Collaboration, afin de confronter leurs résultats.

Résultats : L'analyse des 5 articles a permis de mettre en évidence une augmentation moins importante des DOMS pendant un entraînement de pliométrie dans l'eau comparé à de la pliométrie au sol. Les résultats obtenus ne sont pas tous significatifs. Les analyses sanguines, les échelles de la douleur et l'algomètre de pression sont utilisés comme outils de mesure dans ces études.

Conclusion : L'exercice pliométrique dans l'eau provoque moins de DOMS que l'exercice pliométrique au sol. La pliométrie aquatique semble être une technique très intéressante pour le domaine sportif et dans la rééducation au même titre que celle au sol.

Mots clés : DOMS ; Kinésithérapie ; Pliométrie aquatique

DOMS and aquatic plyometrics : literature review

Introduction : Plyometrics is a muscle strengthening method used in sports and in rehabilitation. This technique allows a performance gain however it can be a source of trauma and injuries. DOMS is one of the consequences of plyometric's work and can affect rehabilitation or sports performance. The work in the water becomes more and more common and is integrated in the sporting field and in the rehabilitation. We will try to determine the interest of a plyometric training in water in terms of prophylaxis of DOMS.

Material and Method : We have researched for articles in the literature until April 2020 on the Cochrane, Medline, PeDro and Base databases. We have included, randomized studies with healthy subjects, which compare plyometric training in water to plyometric training on the ground and which include as a primary criterion the measurement of DOMS. Our goal was to assess the differences in the emergence of DOMS between these two training methods. We analyzed the selected articles by assigning them a grade and determining study biases according to the Cochrane Collaboration grid, in order to compare their results.

Results : Analysis of the 5 articles made it possible to highlight a less significant increase in DOMS during plyometric training in water compared to plyometric on the ground. The results obtained are not all significant. Blood tests, pain scales and an algometer are used as measurement tools in the studies.

Conclusion : Plyometric exercise in water causes less DOMS than plyometric exercise on ground. Aquatic plyometrics seems to be a very interesting technique for the sports field and in rehabilitation as well as that on the ground.

Keys words : DOMS ; Physiotherapy ; Aquatic plyometric