



Institut Régional de Formation aux Métiers de la Rééducation et Réadaptation
Pays de la Loire.

54, rue de la Baugerie - 44230 SAINT- SÉBASTIEN SUR LOIRE

**Le syndrome « Relative Energy Deficiency in Sport » :
ses conséquences sur la santé de la femme sportive**

Revue de la littérature

Clémence BILLAUT

Mémoire UE28 Semestre 10

Année scolaire : 2022-2023

ENGAGEMENT DE NON-PLAGIAT

Je, soussignée Clémence BILLAUT, déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

A St Sébastien sur Loire,

Le 24/04/2023

Clémence BILLAUT

AVERTISSEMENT

Les mémoires des étudiants de l'Institut Régional de Formation aux Métiers de la Rééducation et de la Réadaptation sont réalisés au cours de la dernière année de formation MK.

Ils réclament une lecture critique. Les opinions exprimées n'engagent que les auteurs. Ces travaux ne peuvent faire l'objet d'une publication, en tout ou partie, sans l'accord des auteurs et de l'IFM3R.

Remerciements

Je souhaite remercier ma directrice de mémoire, qui m'a guidée dans le processus de recherche, d'analyse et de rédaction de ce travail de fin d'études.

Je remercie mes parents qui m'ont permis de me former à ce beau métier. Merci à mon partenaire de vie pour son soutien inconditionnel, à ma maman pour les multiples relectures.

Un grand merci à tous les copains qui ont fait de ces quatre années des moments inoubliables.

Résumé

La faible disponibilité énergétique, résultat d'une dépense énergétique élevée et d'un régime alimentaire strict, est une observation récurrente chez les femmes sportives. Regroupés sous le terme « syndrome Relative Energy Deficiency in Sport » ou RED-S, ses impacts sur la santé sont divers et plus variés qu'on ne le pensait il y a quelques années.

Cette revue questionne l'expression des conséquences du syndrome RED-S vis-à-vis de la santé de la femme sportive.

Une revue systématique de la littérature a été réalisée, interrogeant les bases de données PubMed, ScienceDirect et Sportdiscus. Les études longitudinales de cohorte et les études transversales étaient incluses. Six articles ont été sélectionnés et passés en revue.

Cinq études transversales et une étude de cohorte ont permis d'identifier les conséquences qui impactent principalement la santé de la femme, qui sont : les troubles menstruels, gastro-intestinaux, psychologiques, les troubles de la santé osseuse, les troubles hématologiques et cardio-vasculaires. Les troubles des fonctions immunitaire, endocrinienne, métabolique, urinaire, ainsi que la croissance et le développement, sont moins importants dans les études qui les recherchent. Des conséquences plus indirectes telles que l'infertilité ou la fracture de fatigue étaient attendues mais n'ont pas été recherchées par les études incluses.

Des troubles menstruels aux troubles gastro-intestinaux, en passant par une mauvaise fonction cardio-vasculaire ou une incontinence urinaire, le déficit énergétique affecte largement l'athlète. Cette revue de la littérature donne un aperçu de l'étendue des symptômes et de leur expression chez les athlètes féminines. Le masseur-kinésithérapeute au contact de la sportive possède une place privilégiée pour la prévention, le dépistage, le conseil et par certains aspects, le traitement du syndrome RED-S. L'information des sportives et de leur équipe de soin peut être un vrai levier pour la prise en charge.

Mots-clés : Conséquences – Faible disponibilité énergétique – Femme – RED-S — Santé

Abstract

Low energy availability, resulting from high energy expenditure and strict diet, is often observed among sports women. Also named « Relative Energy Deficiency in Sport » syndrome or RED-S, its health consequences are diverse.

The aim of this review is to question the expression of the consequences of the RED-S syndrome regarding sportswoman's health.

A systematic review of the literature was conducted, with cross-sectional and longitudinal studies. Six articles from PubMed, ScienceDirect and Sportdiscus were finally selected.

Five cross-sectional studies and one cohort study identified the consequences that primarily impact women's health, which are: menstrual, gastrointestinal, psychological, bone health disorders, haematological and cardiovascular disorders. Immune, endocrine, metabolic, urinary, and growth and development disorders are less important in the studies. More indirect consequences such as infertility or stress fracture were expected but were not sought in the included studies.

From menstrual disorders to gastrointestinal disorders, as well as poor cardiovascular function and urinary incontinence, energy deficit greatly affects the athlete. This review of literature provides an overview of the extent and expression of symptoms in female athletes. The physiotherapist in contact with the athlete has a privileged place for the prevention, the screening, the advice and by certain aspects, the treatment of the syndrome RED-S. The information of the athletes and their care team can be really helpful for the management of symptoms.

Key-words : Consequences – Health – Low Energy Availability – RED-S – Woman

Liste des abréviations

AP : Activité Physique

BDI-1a : Beck Depression Inventory

BEDA-Q : Brief Eating Disorder in Athlete Questionnaire

CRAT : Cumulative Risk Assessment Test

COI : Comité Olympique International

DE : Déficit en Énergie

DMO : Densité Minérale Osseuse

DXA : Densitométrie (Dual X-ray Absorptiometry)

EEE : Dépense en énergie liée à l'exercice (Exercise Energy Expenditure)

EI : Apport en énergie (Energy Intake)

ESP : Eating disorder Screen for Primary care

FA : Groupe actif (Fitness Athlete)

FCR : Fréquence Cardiaque au Repos

FDE : Faible Disponibilité Énergétique

FFM : Masse Maigre (Fat Free Mass)

FHA : Aménorrhée Fonctionnelle Hypothalamique

FIQ : Faecal Incontinence Questionnaire

FR : Groupe contrôle (Female Reference)

GAD-7 : Generalised Anxiety Disorder scale

IC : Intervalle de Confiance

IGF-1 : Facteur de croissance insulinique 1

IU : Incontinence Urinaire

J : Jour

LEAF-Q : Low Energy Availability in Females – Questionnaire

LCA : Analyse de Classe Latente (LC1, LC2, LC3)

LH : Hormone Lutéinisante

MK : Masseur-kinésithérapeute

MeSH : Medical Subject Headings

NCBI : National Center of Biotechnology Information

OMS : Organisme Mondial de la Santé

OR : Odd Ratio

PHQ-8 : Patient Health Questionnaire

PPE : Pre-Participation Evaluation

RED-S : Relative Energy Deficiency in Sport

sQAT-OCCS-NIH : Quality Assessment Tool for Observational Cohort and Cross-Sectional Study

T1 : Première mesure

TMR : Taux Métabolique au Repos, en kcal

Table des matières

1. INTRODUCTION	1
2. LE SPORT INTENSIF : UN DANGER POUR LA SANTE DE L'ATHLETE ?	2
2.1. LES FEMMES D'AVANTAGE CONCERNEES	2
3. LES SPECIFICITES DE LA FEMME SPORTIVE	3
3.1. LE CYCLE MENSTRUEL	3
3.2. LE CYCLE MENSTRUEL DE LA SPORTIVE	4
4. LE SYNDROME RED-S : UN CONCEPT ELARGI DE LA TRIADE DE L'ATHLETE	4
4.1. LA TRIADE DE L'ATHLETE	4
4.2. LE SYNDROME RED-S	7
4.3. DEPISTAGE, DIAGNOSTIC ET TRAITEMENT	9
5. PROBLEMATISATION	10
6. METHODE DE RECHERCHE	11
6.1. CHOIX DE LA METHODE	11
6.2. STRATEGIE DE RECHERCHE	11
6.3. CRITERES D'INCLUSION ET D'EXCLUSION DES ETUDES	14
7. RESULTATS	15
7.1. SELECTION DES ARTICLES	15
7.2. PRESENTATION SYNTHETISEE DES ETUDES	17
7.3. MESURE DU FACTEUR D'EXPOSITION AU SEIN DES ETUDES	17
7.4. RESULTATS DES ETUDES	20
8. DISCUSSION	28
8.1. INTERPRETATION DES RESULTATS	28
8.2. LIMITES DE LA REVUE	34
8.3. INTERET CLINIQUE ET PERSPECTIVES PROFESSIONNELLES	36
9. CONCLUSION	40

Références bibliographiques

Annexes 1 à 3

Tableaux

Tableau I : Stratégie de recherche selon la base de données.....	13
Tableau II : Caractéristiques générales des études.....	18
Tableau III : Évaluation du facteur d'exposition (DE) au sein des études	19
Tableau IV : Résultats des études	27

Figures

Figure 1 : Schématisation du cycle menstruel	3
Figure 2 : Conséquences du déficit en énergie relatif à la pratique sportive (RED-S) sur la santé. 8	
Figure 3 : Processus de sélection et d'inclusion des études à la revue de littérature.....	16
Figure 4 : Traitement de la Triade de l'Athlète Féminine.	38

1. Introduction

Le sport en tant qu'activité physique, renvoie à de nombreuses définitions selon les acteurs auxquels on s'adresse. Il diffère de l'activité physique par sa notion de codification et de performance dans un contexte de compétition (1). En plus des valeurs de dépassement de soi, de cohésion, d'égalité des chances et de plaisir auxquelles il renvoie, le sport est souvent associé à la bonne santé. Par le développement de nos capacités en endurance, en agilité, en coordination ou par la lutte contre la sédentarité via le sport-santé, il s'affiche comme le « must-do » des différentes générations (2,3). L'activité physique fait d'ailleurs l'objet de prescription médicale depuis l'année 2018 (4,5). En 2020, 65% des Français de 15 ans et plus ont pratiqué au moins une activité physique et sportive au cours des douze derniers mois (6), et plus de 14 millions de licences dans les clubs de sport ont été délivrées pour la saison 2020-2021 (7). C'est autant de sportifs qui vont potentiellement participer à des compétitions de tous niveaux.

Parallèlement à ces modalités de pratique, les études montrent que 30 à 36% des athlètes présentent une faible disponibilité énergétique (FDE) c'est à dire un apport énergétique ≤ 45 kcal/kg de masse maigre (8,9). On relève notamment une FDE chez 18% à 58% des pratiquants de l'athlétisme en compétition (10), et la prévalence de FDE évaluée chez 10 cyclistes américains en compétition, hommes et femmes, atteint les 90%. 70% d'entre eux se restreignaient volontairement dans l'optique de contrôler leur poids (11). Ces chiffres mettent en exergue une problématique qui n'est pas suffisamment prise en compte par les professionnels du sport et de la santé : le syndrome RED-S, Relative Energy Deficiency in Sport. Le RED-S est une « altération du fonctionnement physiologique causée par un déficit énergétique relatif, et comprend, sans toutefois s'y limiter, les altérations du taux métabolique, de la fonction menstruelle, de la santé osseuse, de l'immunité, de la synthèse des protéines et de la santé cardiovasculaire » (12).

Cette revue systématique de la littérature a pour objectif de comprendre la manière dont s'expriment les différentes conséquences du RED-S chez l'athlète féminine.

2. Le sport intensif : un danger pour la santé de l'athlète ?

La pratique sportive en compétition pousse à produire des performances toujours plus impressionnantes. Pour cela, elle soumet l'athlète à une pression importante et implique une rigueur dans les entraînements et dans l'hygiène de vie. La pratique sportive trop intensive, en excès, peut avoir des effets délétères pour la santé physique et mentale (13).

Lorsqu'un athlète vise la performance, il met tout en œuvre pour réussir. Cela, associé à un manque de connaissance ou un mauvais accompagnement, peut mener à des comportements excessifs (1). De manière consciente ou inconsciente, l'athlète peut présenter un comportement de restriction et de surveillance de ses apports énergétiques, en plus de l'entraînement intensif pour réussir à dépasser ses performances sportives. L'équilibre énergétique nécessaire au bon fonctionnement des différents organes est alors souvent menacé. Le déficit en énergie disponible est le facteur causal de la triade de l'athlète et du syndrome Relative Energy Deficiency in Sports (RED-S) (14,15).

Certains sports dits « esthétiques » comme la danse classique ou la gymnastique rythmique, demandent à l'athlète de renvoyer une image bien particulière. Les sports à catégories de poids eux aussi, poussent l'athlète à un contrôle strict de ses apports. Ils sont alors davantage pourvoyeurs d'un déficit en énergie, et des symptômes du RED-S (9,16–18).

2.1. Les femmes davantage concernées

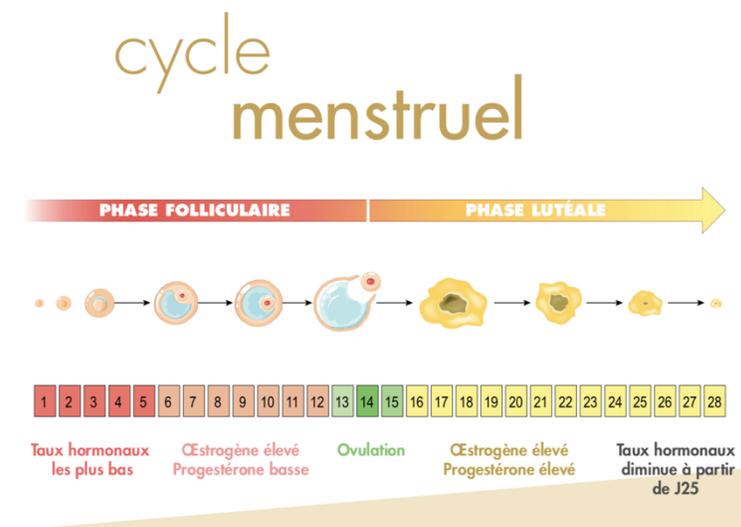
Les femmes sont souvent plus nombreuses au sein de ces sports (16). En effet en 2017, en France, presque 84% des licenciés en gymnastique artistique sont des femmes (19). De plus, au sein même de ces sports promouvant la beauté ce sont les femmes qui sont les plus concernées par les troubles de l'alimentation par rapport à leurs homologues masculins (20). Pourquoi cette problématique touche-t-elle la femme différemment de ses homologues masculins ? Sur quels plans, la femme plus que l'homme, peut-elle être impactée par un déficit en énergie, dans le cadre d'une pratique sportive intensive ?

3. Les spécificités de la femme sportive

La femme se différencie de l'homme d'abord d'un point de vue génétique, avec une spécificité des organes génitaux, et une production hormonale propre à sa condition. On trouve donc un taux d'œstrogènes, produits par les ovaires, plus important chez la femme, tandis que l'homme possède une plus grande quantité d'hormones androgènes, la testostérone, produite par les testicules. Cette production d'hormones engendre chez la femme, à partir de la puberté, le cycle menstruel permettant la reproduction (21).

3.1. Le cycle menstruel

Le cycle menstruel est un processus physiologique chez la femme, de la ménarche à la ménopause. Sa durée est comptée à partir du premier jour des saignements jusqu'au jour précédant les prochains saignements (22). Elle est en moyenne de 28 jours \pm 6 jours.



*Figure 1 : Schématisation du cycle menstruel
(Maître C Sportives de haut niveau : Les cycles, les règles, la
contraception et la performance. INSEP. 22 avr 2022.)*

Ce cycle est contrôlé par des hormones. Schématiquement on note deux phases : la première, la phase folliculaire, correspond à la croissance d'un ovocyte jusqu'à l'ovulation (23). Elle inclut la période de règles, de J1 à J5 (24). A partir de J5, on note une augmentation de la sécrétion d'œstrogène, puis la libération de l'ovule (24). Au cours de cette période, la muqueuse utérine, qui donnera lieu aux règles, s'épaissit. La seconde est la phase lutéale ou phase sécrétoire, qui se

situe après l'ovulation (14ème jour) (23). C'est la phase progestative. Le follicule qui a libéré l'ovule se réorganise, le corps jaune ovarien sécrète la progestérone, et la muqueuse se prépare à recevoir l'ovule fécondé. Si l'ovule n'est pas fécondé, le corps jaune régresse, les taux hormonaux chutent, ce qui va déclencher la destruction de la muqueuse utérine : les règles. Le cycle menstruel recommence (23). Certains auteurs notent une troisième phase appelée phase ovulatoire, entre les deux phases. Parfois, ce cycle se trouve perturbé par des facteurs externes, tels que le mode de vie, les habitudes alimentaires, et/ou l'activité physique.

3.2. Le cycle menstruel de la sportive

L'activité physique entraîne des dépenses énergétiques, qui sont habituellement compensées par une alimentation adéquate. Cependant, nombreuses sont les sportives qui relatent une absence de règles, ou des cycles très espacés et irréguliers (33% des athlètes de 1ère division questionnées dans l'étude de Verrilli et al. présentaient des troubles menstruels)(25). Cela peut leur convenir, dans la mesure où elles ne sont dans ce cas-là plus gênées par les saignements chaque mois, ou par des douleurs lors des entraînements ou match, qui peuvent interférer avec leur performances (26). En plus du fait que les menstruations représentent un sujet tabou, les athlètes n'en parlent pas aux équipes médicales car elles se concentrent sur leur performance (27). Ceci dit, l'aménorrhée est un symptôme, et doit faire rechercher la cause pour éviter ses effets sur la santé.

Si à haut niveau, l'activité physique est souvent associée à l'aménorrhée, elle n'est pourtant pas directement la source de perturbation du cycle menstruel : ces dérèglements s'effectuent dans un contexte de déficit d'énergie disponible, associé à d'autres symptômes divers et variés. Pour les nommer, on a longtemps parlé de la triade de l'athlète, mais pour ce travail, parce qu'il est plus récent et plus global, nous nous intéressons au syndrome RED-S (28).

4. Le syndrome RED-S : un concept élargi de la triade de l'athlète

4.1. La Triade de l'athlète

A l'origine, la triade de l'athlète est un ensemble de symptômes communément observés chez les femmes pratiquant une activité sportive à haute intensité. Le symptôme le plus visible, la

perturbation du cycle menstruel, aménorrhée ou oligoménorrhée, s’articule généralement avec deux autres symptômes : un déficit en énergie disponible plus ou moins associé à des troubles alimentaires, et une déminéralisation osseuse. Ce terme de triade de l’athlète naît en 1992, et le diagnostic nécessite alors de présenter les trois symptômes à la fois (29). Depuis 2007, un seul de ces trois symptômes est nécessaire pour poser le diagnostic (28).

4.1.1. Déficit en énergie et troubles alimentaires

Le déficit en énergie disponible, aussi nommé faible disponibilité énergétique, est à la fois l’origine et le résultat des symptômes de cette triade; c’est le moteur du cercle vicieux (15,30). Il apparaît lorsqu’il y a une réduction de l’apport en énergie et/ou une augmentation de la dépense énergétique. Ce trouble peut être intentionnel (lié aux troubles alimentaires ou d’estime de soi, avec des restrictions ou purge) ou non-intentionnel (lié à une mauvaise gestion de la charge d’exercice dans l’activité sportive au regard de l’apport énergétique par l’alimentation) (30). L’énergie disponible est calculée de la manière suivante (30) :

$$\frac{\text{Apport énergétique (kcal)} - \text{Dépense énergétique liée à l'exercice (kcal)}}{\text{Masse maigre (kg)}}$$

La dépense énergétique liée à l’exercice est le résultat de l’addition de la dépense énergétique quotidienne et de la dépense énergétique lors de l’exercice (31). L’énergie disponible est exprimée en fonction de la masse maigre (FFM).

Des valeurs de références ont été établies (31):

- Faible disponibilité énergétique (FDE) : <30 kcal/kg FFM par jour
- Disponibilité énergétique moyenne : entre 30 et 45 kcal·kg FFM par jour
- Disponibilité énergétique optimale : >45 kcal/kg FFM par jour

Les troubles alimentaires trouvent une origine multifactorielle (culturelle, familiale, individuelle, génétique...)(32). Ils sont favorisés notamment par une pression à la performance, une augmentation soudaine du volume d’entraînement, une blessure, une reproduction des comportements similaires dans l’équipe, les pesées régulières de l’équipe (33–35).

Ces comportements favorisant l'apparition d'un déficit en énergie et de ses conséquences, ils sont dépistés et évalués. Plusieurs outils existent, tels que le Brief Eating Disorder in Athlete Questionnaire (BEDA-Q)(36).

4.1.2. Troubles menstruels

Lorsque le corps considère que l'énergie disponible est trop faible, il limite ses activités à la survie. Il envoie alors des signaux qui vont limiter le cycle menstruel, et ainsi éviter toute grossesse qui serait alors dangereuse pour la femme et le fœtus (37).

On trouve plusieurs aspects du déséquilibre menstruel :

- On peut parler d'*aménorrhée primaire*, lorsqu'une jeune femme de 15 ans ou plus, présentant des caractères sexuels secondaires, n'est pas réglée et ne l'a jamais été.
- L'*aménorrhée secondaire* est l'absence de règle d'une durée supérieure à 90 jours chez une jeune femme ayant déjà présenté des menstruations.
- Enfin, le terme *oligomenorrhée* rapporte à un/des intervalle(s) supérieurs à 35 jours entre les menstruations, et une quantité de sang anormalement faible (23,30).

La perturbation du cycle menstruel s'accompagne d'un dérèglement hormonal, et notamment d'un déficit d'œstrogène, hormone qui intervient dans le processus de minéralisation osseuse (30). Le trouble menstruel le plus souvent associé au syndrome RED-S est l'aménorrhée fonctionnelle hypothalamique (FHA), qui a lieu quand l'axe hypothalamo-hypophyso-gonadique est perturbé par la FDE (38).

4.1.3. Déminéralisation osseuse

D'une part, la déminéralisation osseuse est liée à une énergie disponible trop faible qui altère l'environnement métabolique des os (tel que la quantité en calcium, vitamine D, facteurs de croissance...) ne permettant pas leur renouvellement physiologique (30).

Elle est d'autre part le résultat de l'absence de menstruations normales, responsable d'une hypœstrogénie et d'une suractivité des ostéoclastes, cellules qui sont chargées de la catalyse du tissu osseux. Physiologiquement, les œstrogènes présents dans le sang facilitent le dépôt du

calcium sur les os ce qui permet de les renforcer. De plus, la progestérone permet une meilleure efficacité des œstrogènes (14).

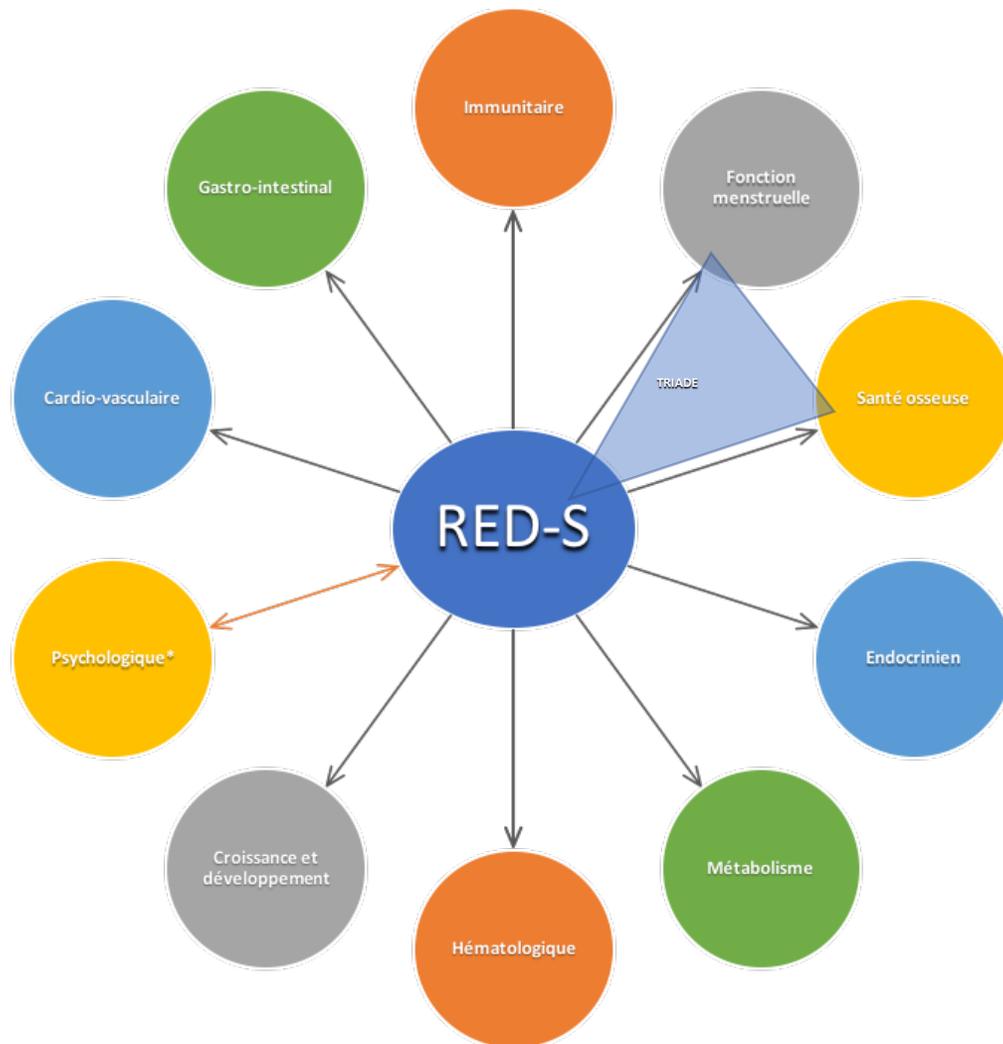
Par ailleurs, on sait que 90% du pic de densité osseuse sont atteints aux alentours de l'âge de 18 ans (30). Si l'athlète ne peut assurer la bonne santé de ses os jusqu'à ce pic, alors les conséquences pourraient se répercuter à long terme pour celle-ci.

Ainsi, l'absence ou les troubles des menstruations n'assurent pas des taux hormonaux suffisant pour une bonne santé osseuse. Si l'exercice physique en charge est connu pour stimuler le renforcement des os, les femmes touchées par une aménorrhée chronique ne bénéficient cependant pas de cet avantage puisque possédant une faible densité minérale osseuse (DMO), et l'aménorrhée associée à l'exercice physique sur des os fragilisés peut alors s'avérer être un facteur de risque de blessures telle que la fracture de fatigue. Pour mesurer la densité minérale osseuse, on utilise la densitométrie ou DXA (39).

La triade de l'athlète se présente donc comme un cercle vicieux aux impacts divers sur la santé de la femme. L'aménorrhée étant un des principaux symptômes, on a longtemps cru que ce syndrome ne touchait que les femmes. Au fur et à mesure des recherches sur le sujet, les scientifiques et professionnels ont fait le constat que le déficit énergétique présent chez les athlètes masculins comme chez les athlètes féminines, était au centre de la problématique, et que les symptômes ne se limitaient pas à la triade (14).

4.2. Le syndrome RED-S

Le syndrome « RED-S » ou Relative Energy Deficiency in Sport syndrome, est né en 2014 lors de la déclaration de consensus du Comité Olympique International (COI)(14). Plus large, il englobe la triade de l'athlète féminine, en plaçant au centre du problème le déficit d'énergie disponible et en y ajoutant de nombreux effets au-delà des troubles menstruels et de la faible DMO, apparaissant également chez l'homme (40).



*Figure 2 : Conséquences du déficit en énergie relatif à la pratique sportive (RED-S) sur la santé. Figure présentant une conception plus étendue de la Triade de l'athlète féminine, associée à un spectre de symptômes plus large et s'appliquant également à l'athlète masculin. (*Les conséquences psychologiques peuvent être la cause et la conséquence du RED-S). (The IOC Consensus Statement, Mountjoy et al., 2014)*

Le déficit en énergie disponible a pour conséquence une incapacité à maintenir les fonctions physiologiques de notre corps à l'état optimal (14). Il va donc avoir des conséquences sur le plan de la santé, et sur le plan des performances. Le corps va ajuster ses dépenses énergétiques pour subvenir aux besoins des organes vitaux en parallèle à l'activité physique, délaissant les autres fonctions du corps humain.

Le syndrome RED-S reprend donc les trois pôles atteints dans la triade de l'athlète. Cela dit, huit autres axes de santé atteints sont décrits par le consensus du COI. En plus d'une altération de la fonction menstruelle et de la santé osseuse, il paraît y avoir des conséquences sur le plan endocrinien, métabolique, hématologique, sur le plan de la croissance et du développement, sur le plan psychologique, cardiovasculaire, gastro-intestinal ou encore sur le plan immunitaire (14).

4.3. Dépistage, diagnostic et traitement

Comme évoqué précédemment, certaines sportives sont plus à risque que d'autres de présenter le syndrome RED-S. C'est le cas pour celles pratiquant un sport à catégorie de poids, un sport artistique ou un sport d'endurance (9,15). Le dépistage va donc être primordial chez ces sportives. Le diagnostic repose sur des signes cliniques évidents tels que l'aménorrhée, les fractures de fatigue à répétitions, une perte de poids majeure (41). Le syndrome est parfois moins perceptible, et c'est pour cela qu'il est important d'aller rechercher un ensemble de symptômes caractéristiques : sur le plan gynécologique, alimentaire, une croissance et/ou un développement anormalement lent, des blessures et maladies récurrentes, un déclin des performances etc.

Des outils sont aujourd'hui utilisés dans le dépistage du RED-S, tels que le questionnaire « LEAF-Q » (42). Ce questionnaire validé comprend 25 items s'intéressant à la fonction menstruelle, gastro-intestinale, et aux antécédents de blessures (cf. Annexe 1). Melin et al. ont suggéré des seuils pour chaque partie (gastro-intestinale (≤ 2), menstruelle (≥ 4) et pour le total (≥ 8))(42).

Il est reconnu pour refléter la disponibilité énergétique de l'individu au regard de ses comportements alimentaires et de ses apports/dépenses énergétiques, et de sa santé osseuse.

Le traitement du syndrome repose sur le rééquilibrage énergétique, qui consiste à diminuer les dépenses énergétiques, donc réguler l'activité physique, ou à adapter à cette dernière les apports énergétiques. Une prise en charge psychologique sera généralement nécessaire (41).

En terme d'énergie disponible, le retour à la normale se fait relativement rapidement (quelques jours/semaines). Cependant le déficit en énergie prolongé s'inscrit dans un contexte particulier, avec une santé physique et mentale chamboulée. La santé optimale sera retrouvée notamment lorsque les cycles menstruels, la densité osseuse, ou encore les habitudes alimentaires seront à nouveaux normaux ce qui peut prendre plusieurs mois/années (cf. [Figure 4](#)) (43).

5. Problématisation

Si le sport est synonyme de santé pour la population générale, pour un athlète de haut niveau il peut être à l'origine d'une dégradation de sa santé, profitant à la performance pour un court laps de temps. Avec une mauvaise gestion des apports et/ou de la charge d'entraînement, en parallèle à la constante pression invoquée par les codes sociaux pour un corps fin et musclé, le déficit en énergie s'installe discrètement chez l'athlète (1).

Cette problématique étant observée depuis longtemps chez les femmes, elle est davantage documentée que pour leurs homologues masculins. De plus, la composante du cycle menstruel et les conséquences y étant associées suscitent un intérêt particulier. C'est pourquoi nous avons décidé de nous intéresser au déficit en énergie dans le contexte du syndrome RED-S chez la femme pratiquant le sport de manière importante. Dans cette optique, il est intéressant de se questionner sur la manière dont le corps de la femme va réagir à cette pression.

Le masseur-kinésithérapeute est amené au cours de sa carrière à prendre en charge des femmes sportives, pratiquant en compétition ou aspirant à une pratique intensive. En plus du rôle d'accompagnement, le rééducateur possède un rôle de dépistage et d'éducation de la patiente (44). Connaître et comprendre les enjeux du sport intensif dans la santé physique et mentale de la femme est donc un prérequis. Pour cela, il est évident qu'être au fait des impacts sur le corps de la femme peut nous permettre de prévenir les comportements à risque et d'informer la patiente sur ce qu'il peut lui arriver si elle dépasse volontairement ou pas, les limites de son corps (45).

Le déficit en énergie, dans le syndrome RED-S, occasionne des conséquences sur la vie de l'athlète. Les encadrants – entraîneur, médecin, coach, masseur-kinésithérapeute – sont-ils au fait de ce syndrome ? Comment accompagnent-ils l'athlète pour palier à cela ? Prennent-ils en compte les symptômes dans le plan d'entraînement, dans la gestion de la charge ? La compréhension de ce syndrome par le staff pourrait-elle influencer le nombre d'athlètes touchées par le déficit en énergie et ses conséquences ?

Il est nécessaire de sensibiliser les personnes qui entourent l'athlète, dont nous, masseur-kinésithérapeutes, faisons partie. Une meilleure connaissance de ce syndrome et de ses conséquences pourrait permettre une surveillance, un dépistage et une prise en charge de meilleure qualité. Ainsi, la question suivante mérite d'être posée :

Comment s'expriment les conséquences à court et long terme du déficit en énergie dans le cadre du syndrome RED-S, chez l'athlète féminine ?

L'objectif de ce mémoire est de déterminer quelles sont les conséquences à plus ou moins long terme du déficit en énergie sur la santé de la femme athlète. Nous souhaitons connaître la nature et l'importance de ces conséquences. Cela permettra, en second plan, une meilleure connaissance du syndrome par les professionnels du sport et de la santé, une prise en charge adaptée et une éducation thérapeutique ciblée.

6. Méthode de recherche

6.1. Choix de la méthode

Pour répondre à notre question de type descriptive, nous réalisons une revue systématique de la littérature, de type « scoping revue ». Les marqueurs de qualité de la grille AMSTAR (validé pour la lecture et l'évaluation des revues systématiques) seront utilisés pour fil conducteur de la revue (46).

6.2. Stratégie de recherche

6.2.1. Bases de données interrogées

Les bases de données de littérature scientifique Public MEDLINE (PubMed, NCBI), ScienceDirect (Elsevier Masson) et SPORTDiscus (EBSCO) sont interrogées pour cette recherche. Nous avons choisi trois bases de données anglophones dans la mesure où l'anglais est une langue universelle en recherche.

6.2.2. Critères de recherche

La population concernée par cette recherche est la jeune femme, exposée ou soupçonnée exposée au déficit en énergie disponible dans le cadre du sport intensif, donc concernée par le RED-S. Les outcomes (résultats en anglais) de cette recherche sont les conséquences à court et long terme du déficit en énergie et la manière dont elles s'expriment (par exemple, les conséquences psychologiques donnent-elles lieu à des symptômes d'anxiété ? de dépression ?). Nous nous attendons à retrouver les 10 conséquences du RED-S énoncées par le consensus du Comité Olympique International (41), mais aussi les conséquences plus secondaires, comme la fracture de fatigue qui est liée à la faible densité minérale osseuse par exemple.

6.2.3. Mots-clés

À partir de la question de recherche « Comment s'expriment les conséquences à court et long terme du déficit en énergie dans le cadre du syndrome RED-S, chez l'athlète féminine ? », différents mots-clés utiles à la recherche ont été identifiés et traduits en anglais :

- Conséquence / *Effect*
- Santé / *Health*
- Faible disponibilité énergétique / *Low Energy Availability* (LEA)
- RED-S (MeSH term)
- Femme / *Female, Women* (MeSH term)

Des termes MeSH (Medical Subject Headings) ont été utilisés. Ceux-ci, répertoriés dans la bibliothèque NCBI (National Center of Biotechnology Information), permettent aux utilisateurs de PubMed (lecteur et auteur) d'utiliser des mots identiques pour un concept particulier. Cela permet une meilleure référencement des articles publiés et facilite la recherche.

6.2.4. Équations de recherche

Les mots-clés ci-dessus ont permis de dégager une équation de recherche. Cette dernière a dû être modifiée pour rester pertinente à chacune des bases de données (cf. Tableau 1). ScienceDirect par exemple, offrait un nombre de données à traiter trop important avec du bruit

documentaire, demandant de réduire la recherche aux champs « Titre, résumé et mots-clés », et d'ajouter la contrainte « RED-S OR 'low energy availability' OR 'energy availability' dans le champ « Titre ».

Le nombre d'occurrences étant globalement faible lors des premières recherches, et le sujet d'intérêt récent, aucune date de publication n'a été fixée comme critère de sélection.

Tableau I : Stratégie de recherche selon la base de données

Base de données	Équation de recherche	Filtre(s) appliqué(s)	Nombre de résultats
PubMED	RED-s AND (consequence OR impact OR effect) AND health AND (female OR woman) NOT review	Aucun	91
ScienceDirect	(RED-S OR 'low energy availability') AND (risk OR consequence OR effect OR impact) AND (woman OR female)	Appliquée aux champs Titre, résumé et mots-clés + RED-S OR 'low energy availability' OR 'energy availability' - champ Titre	11
SPORTDiscus	RED-S Abstract AND Female OR Woman Abstract AND Consequence AllFields	Champ résumé pour RED-S, Female, Woman	68
Total			170

AND, OR, NOT sont des opérateurs booléens signifiant ET, OU, SAUF.

6.3. Critères d'inclusion et d'exclusion des études

6.3.1. Population des études sélectionnées

La population des études sélectionnées doit réunir les conditions suivantes :

- Femmes ou jeune filles de 15 ans ou plus pratiquant une activité sportive régulière à haute intensité ;
- Femmes ou jeunes filles de 15 ans ou plus présentant un déficit d'énergie et/ou diagnostiquée avec le syndrome RED-S, pouvant être comparées à un groupe témoin, sans déficit d'énergie.

L'âge de 15 ans est retenu car c'est un âge critique retrouvé dans différentes revues et articles scientifiques. C'est aussi l'âge à partir duquel une absence de menstruation invite le personnel médical à rechercher une oligoménorrhée (30,39,47).

Sont exclues de cette revue :

- Les études s'intéressant uniquement aux hommes.
- Les études comprenant des femmes et jeunes filles para-athlètes.

En effet, inclure ces dernières pourrait constituer un biais au niveau des résultats. Par exemple, une ostéoporose pourrait être retrouvée chez les para-athlètes, avec pour origine non pas le déficit en énergie mais le manque de sollicitation liée à la position prolongée au fauteuil roulant (48,49). Une revue de la littérature spécifique à cette population existe déjà (50).

6.3.2. Type d'études retenues

Afin de répondre à la question de type descriptive et à visée exploratoire, les études observationnelles longitudinales prospectives, les études rétrospectives, et les études transversales sont incluses dans cette revue.

Ne sont pas retenues : les revues de littérature, les guides de recommandation, les études par entretien, les séries de cas, les études de cas. Ces derniers types d'étude étant de faible qualité scientifique, nous avons décidé de ne pas les inclure à cette revue de la littérature. Les ECR (Essais contrôlés randomisés) ne sont pas attendus dans la mesure où ils seraient difficilement mis en place d'un point de vue éthique. De plus, un déficit énergétique créé volontairement ne serait

pas représentatif de la réalité du terrain, nous préférons donc des études qui observent un déficit énergétique lié aux comportements de la sportive, et l'expression de ses conséquences.

7. Résultats

7.1. Sélection des articles

Une fois regroupés, les articles ont subi une première sélection par lecture des titres et retrait des doublons. Les résumés des trente-deux articles restant ont ensuite été lus. Parmi les articles qui ont été retenus pour lecture intégrale et application des critères d'inclusion et d'exclusion, six articles correspondaient aux critères de sélection que nous avons définis : une étude de cohorte et cinq études transversales. La dernière étape du processus de sélection des articles est l'évaluation de la qualité méthodologique de chaque article. Nous avons choisi d'utiliser l'échelle SQAT-OCCS-NIH (Study Quality Assessment Tool for Observational Cohort and Cross-Sectional Study), car elle évalue à la fois les études de cohorte et les études transversales (cf. Annexe 1). Les six études ont été incluses à la revue de la littérature. Le processus de sélection est résumé par la figure 3, ci-dessous.

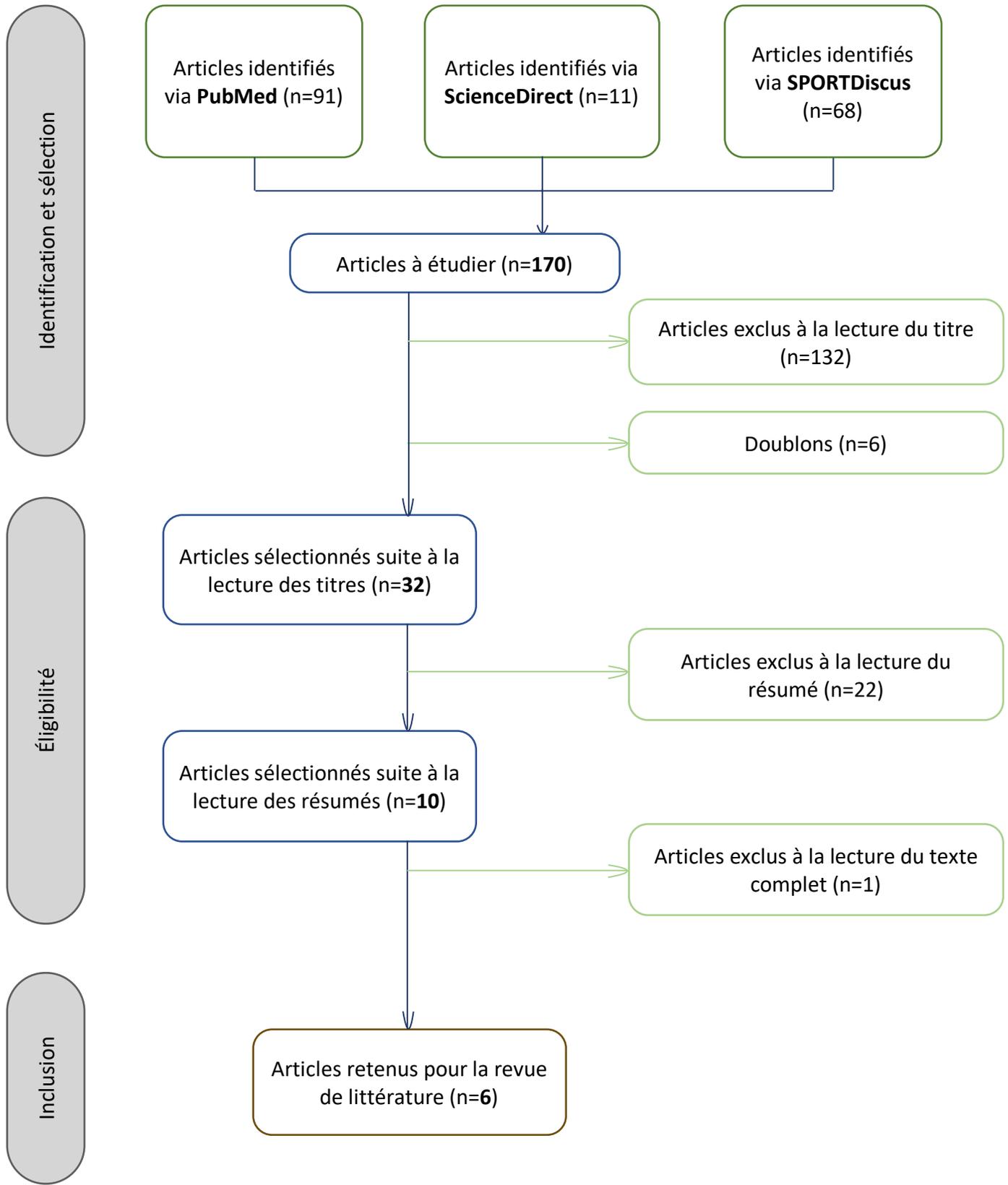


Figure 3 : Processus de sélection et d'inclusion des études à la revue de littérature

7.2. Présentation synthétisée des études

Six études ont finalement été sélectionnées pour cette revue de littérature, publiées entre 2018 et 2023 (51–56). Leur caractéristiques peuvent être retrouvées dans le Tableau II.

Ces six études représentent un total de 2334 participantes, avec des échantillons de 16 à 1000 femmes selon les études. La tranche d'âge sur l'ensemble de ces études va de 15 à 40 ans, avec un âge moyen de 23 ans. Les participantes doivent pratiquer 4 à 8 heures d'activité physique par semaine selon les études, bien que certaines ne définissent pas de minimum, mais plutôt une intensité moyenne à élevée. Une étude comporte une comparaison aux hommes, cependant cela n'entrave pas à l'analyse des données concernant les femmes seulement (54).

Certains articles étudient l'association entre la faible disponibilité énergétique et les conséquences du RED-S (54–56). D'autres étudient l'association entre la faible disponibilité énergétique et un symptôme en particulier comme l'incontinence urinaire (Whitney et al.) ou la santé cardio-vasculaire (Kyte et al.).

Deux études sont basées uniquement sur des questionnaires, tandis que les autres comportent des mesures cliniques en plus des questionnaires. Nous retrouvons notamment le questionnaire LEAF-Q, utile au dépistage du RED-S ou de la Triade. Cinq articles utilisent ce dernier en tout ou partie.

7.3. Mesure du facteur d'exposition au sein des études

Les auteurs ont utilisés différentes manières d'évaluer la disponibilité énergétique. Le déficit énergétique (DE) a parfois été considéré induit par le contexte dans lequel l'athlète se trouvait au moment de l'étude (régime alimentaire spécifique à la période de compétition, augmentation de la charge d'entraînement...)(52,55). Il est également relié à la présence de troubles alimentaires (51,56). L'ensemble des études a relevé une prévalence de 28% à 47,3% des participantes identifiées en déficit énergétique ou à haut risque de déficit énergétique (cf. Tableau III).

Tableau II : Caractéristiques générales des études

Études	Objectif	Population	Méthode	Évaluation
Whitney et al. (2021)	Établir le lien entre FDE et incontinence urinaire	1000 Femmes ≥4h AP/sem. ≅ 19 ans	Transversale	Questionnaire Examen dossier médical Mesures cliniques
Mathisen et al. (2020)	Évaluer la santé et les symptômes associés à la FDE	51 femmes (FA + FR) ≅ 28.1 ans	Cohorte	Questionnaire Régime pesé Tests physiques
Kyte et al. (2022)	Évaluer la FDE et la fonction/morphologie vasculaire	31 femmes (A+I) ≥8h AP/sem. ≅ 27 ans	Transversale	Questionnaire Mesures cliniques
Heikura et al. (2018)	Établir un rapport des mesures de FDE, fonctions hormonale, métabolique et reproductive, DMO, taux de blessure/maladie	39 femmes Niveau dans discipline spé. ≅ 24 ans	Transversale	Mesures cliniques Q° propres à l'étude Calcul DE
Carson et al. (2023)	Identifier et caractériser les conséquences du RED-S	211 femmes Niveau dans discipline spé. ≅ 21 ans	Transversale	Questionnaire en ligne
Ackerman et al. (2019)	Évaluer le lien entre FDE et conséquences du RED-S	1000 Femmes ≥4h AP/sem. ≅ 19 ans	Transversale	Questionnaire en ligne

FA : Fitness Athlete (groupe à risque de DE) – FR : groupe contrôle – A+I : Femmes actives et inactives – « ≥4h AP/sem » : inclusion si elle pratique au moins 4 heures d'activité physique par semaine – Recrutement selon le niveau/classement dans une discipline spécifique

Tableau III : Mesure du facteur d'exposition (DE) au sein des études

	Méthode d'évaluation de la disponibilité énergétique	Athlètes identifiées à haut risque de DE
Whitney et al.	DE si ≥ 1 critère présent parmi : <ul style="list-style-type: none"> - Antécédent de troubles alimentaires - Score élevé au BEDA-Q - Score élevé à l'ESP 	47,3% (473/1000)
Mathisen et al.	A risque de DE si score ≥ 8 au LEAF-Q*.	Augmentation du score entre T1 et T2 ($p < 0.006$)
Kyte et al.	A risque de DE si score ≥ 8 au LEAF-Q*.	44% du groupe « runners » (7/16) 18% du groupe contrôle (3/17)
Heikura et al.	Rapport EI et EEE sur 7 jours : $(EI - EEE) \div FFM$ → DE si $< 30 \text{kcal} \cdot \text{kg FFM} \cdot \text{day}^{-1}$ <ul style="list-style-type: none"> - Dépistage du risque de DE via le CRAT - Dépistage du risque de RED-S (DE, Aménorrhée, ≥ 1 facture de fatigue)(12) 	28% (11/39)
Carson et al.	<i>Mesurent chaque composante du RED-S sans mesurer le déficit en énergie.</i>	
Ackerman et al.	DEE si ≥ 1 critère présent parmi : <ul style="list-style-type: none"> - Antécédent de troubles alimentaires - Score élevé au BEDA-Q - Score élevé à l'ESP 	47,3% (473/1000)

DE : Déficit en Énergie - BEDA-Q : Brief Eating disorder in Athletes Questionnaire (36) - ESP : Eating disorder Screen for Primary care - LEAF-Q : Low Energy Availability in Females Questionnaire - EI : Apport en énergie (Energy Intake) - EEE : Dépense en énergie liée à l'exercice (Exercise Energy Expenditure) - FFM : masse maigre (Fat Free Mass) - CRAT : Cumulative Risk Assessment Test (57) RED-S : Relative Energy Deficiency in Sport

*Des seuils ont été défini par Melin et al. au-delà desquels le risque de faible disponibilité énergétique et le risque de présenter les symptômes de la Triade/du RED-S sont élevés (42)(cf.4.3).Dépistage, diagnostic et traitement

7.4. Résultats des études

Parmi les six études incluses et au regard des 10 conséquences du RED-S énoncées par le consensus du COI en 2018, quatre auteurs ont exploré la fonction menstruelle ; quatre auteurs ont trouvé des conséquences sur la santé osseuse ; quatre auteurs s'intéressaient à la fonction cardio-vasculaire ; trois auteurs évaluaient la fonction gastro-intestinale ; trois ont montré les impacts sur la santé mentale ; deux auteurs questionnaient rétrospectivement la croissance et le développement de l'athlète ; deux évaluaient la fonction hématologique ; deux auteurs exploraient la fonction immunitaire ; quatre articles s'intéressaient à la fonction endocrinienne et cinq au métabolisme de l'individu. Ces résultats sont détaillés dans le Tableau IV.

7.4.1. Fonction menstruelle

Mathisen et al., Heikura et al., Carson et al. ainsi que Ackerman et al. ont exploré la fonction menstruelle au regard de la disponibilité énergétique de l'athlète. Elle était évaluée de manière auto-déclarée par les participantes, par des questions anthropomorphiques simples (nombre de cycles par an, durée des cycles, contraception) ou via le questionnaire LEAF-Q en tout ou partie.

Le symptôme d'aménorrhée a été retrouvé chez 24 à 37% des participantes. **Mathisen et al.** ont rapporté une augmentation de l'aménorrhée dans le groupe « *Athlete* » sans contraception hormonale, passant de 8% à T1 (1^{ère} mesure : 3-4 mois pré-compétition) à 24% à T3 (1 mois post-compétition)($p < 0.003$). **Heikura et al.** ont identifié 37% des femmes touchées par l'aménorrhée, via une étude transversale à type de questionnaire.

Plus généralement, des troubles menstruels sont reportés, notamment chez 53% des 211 femmes participant à l'étude de **Carson et al.** L'étude de cohorte de **Mathisen et al.** a présenté, elle, une augmentation des dysfonctions menstruelles, avec un plus grand nombre de femmes ayant atteint le seuil « LEAF-MI » (item *Menstrual Irregularities* du LEAF-Q) entre T2 (deux semaines pré-compétition) et T3 au sein du groupe « *Athlete* » ($p = 0.018$). Il était précisé que ce phénomène est majoré chez les femmes n'utilisant pas la contraception hormonale ($p = 0.001$). Entre le groupe « *Athlete* » et le groupe contrôle, les auteurs ont observé une différence marginale concernant le nombre de femmes au-dessus du seuil « LEAF-MI » à T1 ($p = 0.012$).

De leur côté, **Ackerman et al.** ont évalué une prévalence de troubles menstruels 1.93 fois plus élevée au sein du groupe identifié « faible disponibilité énergétique » par rapport au groupe

« disponibilité énergétique adéquate » (respectivement 48% et 39% d'aménorrhée, IC 95% = 1.49-2.49). Les autres études s'intéressaient à la fonction menstruelle lors de l'analyse démographique mais n'en tenaient pas compte en tant que résultat d'une exposition au sport intensif ou à la faible disponibilité énergétique.

7.4.2. Santé osseuse

La santé osseuse des athlètes a été explorée dans toutes les études mis à part les études de Whitney et al. et Kyte et al. Elle était évaluée via densitométrie pour mesurer la densité minérale osseuse (DMO). De simples questions ont aussi été utilisées pour évaluer la santé osseuse (par exemple : nombre de fractures liées au sport, nombre de fractures de fatigue...).

La densitométrie par **Mathisen et al.** a statué un changement de DMO au niveau lombaire chez 8% des femmes du groupe contrôle, contre 24% soit 6 femmes du groupe « Athlete ». Parmi ces 6 femmes, 5 avait une DMO diminuée. Cependant, ces changements ne sont pas significatifs donc non exploités par les auteurs. **Heikura et al.** s'intéressaient eux aussi à la santé osseuse, en utilisant la densitométrie et le taux de blessure rapporté par les participantes. Il a été mis en évidence une DMO plus faible chez les femmes aménorrhéiques que chez leurs homologues euménorrhéiques ($p < 0.05$). Ainsi, les femmes aménorrhéiques avaient 4.5 fois plus de journées d'absence aux entraînements du fait de blessures osseuses que les femmes euménorrhéiques. Il a été montré une corrélation négative entre la DMO du corps entier et le score au LEAF-Q, cependant aucune différence significative de DMO n'est reportée selon la disponibilité énergétique. L'évaluation de la santé osseuse par **Carson et al.** reposait sur le relaté de l'athlète : ils ont identifié un risque de fracture si celle-ci rapportait un antécédent ou plus de fracture liée au sport au cours de sa carrière. Ainsi, 75% soit 160 athlètes relataient au moins une fracture. A travers l'analyse des classes latentes, Carson et al. ont reporté une santé osseuse moyennement impactée peu importe la catégorie. Enfin, **Ackerman et al.** ont évalué la santé osseuse par un questionnaire. Ils ont rapporté une probabilité d'avoir une mauvaise santé osseuse plus élevée au sein du groupe identifié « faible disponibilité énergétique » par rapport au groupe « disponibilité énergétique adéquate » (respectivement 27% contre 21% d'antécédents de fracture ; OR=1.72, IC 95% = 1.31-2.26 ; $p < 0.0005$).

7.4.3. Fonction cardio-vasculaire

La fonction du système cardio-vasculaire relative à la disponibilité énergétique a été explorée précisément par Kyte et al.. Elle était aussi parcourue par Mathisen et al., Carson et al. et Ackerman et al.. Elle a été évaluée de différentes manières : par questionnaire, par mesure de la fréquence cardiaque de repos, examen de la fonction vasculaire et endothéliale, examen de la morphologie vasculaire et endothéliale.

Dans l'étude de **Kyte et al.**, mis à part des taux plus élevés en cholestérol-HDL et en Apolipoprotéine-A (particule responsable du transport des lipides dans le sang) ($p=0.017$ et 0.027) chez les femmes actives, aucune différence significative concernant la fonction ou la morphologie vasculaire n'a été retrouvée. De leur côté, **Mathisen et al.** ont observé une diminution significative de la FCR entre T1 et T2 chez les femmes actives ($p<0.009$). Ils ne retrouvaient pas ce phénomène chez les femmes du groupe contrôle ($p=0.002$). Ainsi, le nombre de femmes du groupe « active » dépassant le seuil cliniquement bas de la FCR à T2 avoisinait les 100%. C'était significativement plus élevé qu'à T1 ($p<0.009$). Il ne retrouvent cependant pas de différence significative avec le groupe contrôle. Dans l'étude de **Carson et al.**, 34% des femmes ont reporté des conséquences cardio-vasculaires, et une très haute probabilité dans la classe LC2 (High RED-S consequence class). **Ackerman et al.** ont reporté une probabilité 2.5 fois plus élevée au sein du groupe « faible disponibilité énergétique », avec 10% de femmes touchées contre 4% dans le groupe contrôle (OR=2.53 ; IC 95% = 1.49-4.32 ; $p<0.001$).

7.4.4. Fonction gastro-intestinale

La santé gastro-intestinale a été abordée par Mathisen et al., Carson et al. et Ackerman et al.. Ces trois auteurs ont utilisé le questionnaire LEAF-Q. Ackerman et al. ont en plus utilisé le questionnaire Faecal Incontinence (FIQ).

L'étude de **Mathisen et al.** a présenté une augmentation significative moyenne de 2.5 points sur la partie gastro-intestinale du LEAF-Q (LEAF-GD) à T2 par rapport à T1 chez les athlètes ($p<0.007$). Une différence significative du score LEAF-GD entre les groupes à T2 était également observée ($p=0.006$). Ainsi à T3, plus de 60% des femmes du groupe athlète se trouvaient au-dessus du seuil clinique maximal de dysfonction gastro-intestinale (LEAF-GD) ($p<0.007$). **Carson**

et al. ont identifié une mauvaise santé intestinale à partir de 10 réponses positives aux questions relevant de cette thématique au sein du LEAF-Q. Ainsi, 54% des athlètes interrogées ont reporté une mauvaise santé gastro-intestinale (sensations de gonflement, crampes d'estomac, constipation ou diarrhée)(42). Au regard de l'analyse de classes latente, la prévalence de symptômes gastro-intestinaux était identique dans les trois classes, définie comme moyenne à haute. **Ackerman et al.** ont retrouvé des résultats similaires : une prévalence de problèmes gastro-intestinaux plus élevée dans le groupe « faible disponibilité énergétique », avec 56% des femmes concernées contre 46% dans le groupe « disponibilité énergétique adéquate » (OR=1.50 ; IC 95% = 1.19-1.92 ; $p<0.001$).

7.4.5. Santé mentale

La santé mentale, à savoir les symptômes d'anxiété ou de dépression, était investiguée par les auteurs Mathisen et al., Carson et al., et Ackerman et al. Pour cela ils ont utilisé des questionnaires tels que le BDI-1a (Beck Depression Inventory), le PHQ-8 (Patient Health Questionnaire) ou le GAD-7 (Generalised Anxiety Disorder scale).

Mathisen et al. ont retrouvé une augmentation des symptômes de dépression entre T1 et T2 au sein du groupe « athlète » ($p<0.001$), cela dit aucune athlète n'a atteint le seuil minimal du questionnaire. **Carson et al.** ont rapporté une tendance dépressive modérément sévère, avec 24% de sa population scorant dans la catégorie la plus haute. En parallèle, l'anxiété était retrouvée chez 53% des femmes interrogées par Carson et al. Cela ressortait au niveau l'analyse de classe latente, avec la 3^{ème} classe nommée « Anxious High RED-S consequences class ». En effet, 45% de l'échantillon a été catégorisé dans le groupe aux effets sur le plan psychologique très élevés. Enfin, **Ackerman et al.** ont évalué la mauvaise santé psychologique par le fait de voir un professionnel de la santé mentale. La probabilité de souffrir de problèmes psychologiques était alors 2.4 fois plus élevée dans le groupe « faible disponibilité énergétique » (OR=2.41 ; IC 95% = 1.86-3.13 ; $p<0.0005$). En effet, 50% des femmes de ce groupe étaient concernées, contre 30% du groupe dont la disponibilité énergétique était « adéquate ».

7.4.6. Croissance et développement

Deux auteurs s'intéressaient à la croissance et au développement. **Carson et al.** et **Ackerman et al.** ont considéré la présence de troubles du développement si l'athlète rapportait avoir été sous les courbes de croissance normale durant l'enfance. Leur résultats sont concordants, entre 13 et 16% des athlètes identifiées « faible disponibilité énergétique » ayant reporté une croissance perturbée. Cependant, aucun des deux auteurs n'a retrouvé de résultats significatifs ($p=0.57$ pour Ackerman et al.).

7.4.7. Fonction hématologique

Carson et al. et Ackerman et al. questionnaient les antécédents d'anémie, de taux anormalement bas en fer, ferritine ou hémoglobine, ou la présence anormale de contusion/hématome. **Ackerman et al.** ont retrouvé une plus grande prévalence d'anormalités hématologiques au sein du groupe identifié « faible disponibilité énergétique », avec 32% de réponses positives contre 22% dans le groupe dont la disponibilité énergétique était dite adéquate ($p=0.0005$). Ainsi, il est apparu que la probabilité de présenter des anomalies du sang est 1.6 fois plus élevée dans le cas d'une FDE (IC 95% = 1.24-2.18 ; $p=0.001$). Dans l'étude de **Carson et al.**, 58% des athlètes interrogées déclaraient connaître ou avoir connu ces problématiques.

7.4.8. Fonction immunitaire

Les études de Carson et al. et Ackerman et al. ont interrogé la fonction immunitaire, de manière auto-déclarée : « Je pense être malade plus souvent que les autres ». 15% des participantes à l'étude de **Carson et al.** étaient d'accord ou fortement d'accord avec cette affirmation. L'étude d'**Ackerman et al.** n'a retranscrit aucune différence significative entre les deux groupes (36% vs 37% groupe FDE ; $p=0.8951$).

7.4.9. Fonction endocrinienne

Tandis que Carson et al. et Ackerman et al. s'intéressaient à la fonction thyroïdienne seule et par le relaté des participantes, Kyte et al. et Heikura et al. s'intéressaient également à l'IGF-1 (facteur de croissance insulinoïque 1) et réalisaient pour cela une prise de sang.

Malgré des taux de LH (hormone lutéinisante) plus faible chez les femmes « actives » ($p=0.010$), **Kyte et al.** n'ont retrouvé aucune différence significative concernant les taux hormonaux entre le groupe « actives » et le groupe « inactives ». **Heikura et al.** n'ont pas retrouvé non plus de différence significative selon la disponibilité énergétique, mais ont reporté une Triiodothyronine (hormone thyroïdienne) plus faible chez les femmes aménorrhéiques que chez les femmes réglées ($p<0.05$). Au sein de l'échantillon de **Carson et al.**, le trouble endocrinien était la conséquence la moins communément retrouvée (10% des athlètes interrogées). Via l'analyse de classe latente, il en ressort le même résultat, avec une prévalence faible sur les trois classes. **Ackerman et al.** ont retrouvé une différence significative de prévalence des troubles de la fonction thyroïdienne entre le groupe « faible disponibilité énergétique » et le groupe « disponibilité énergétique adéquate », mais la prévalence était faible (respectivement 3.38% et 1.90% ; $p=0.0004$).

7.4.10. Fonction métabolique

Mathisen et al, Kyte et al., Heikura et al., Carson et al. et Ackerman et al. ont recherché les impacts de la faible disponibilité énergétique sur la fonction métabolique des femmes sportives.

Mathisen et al. ont mesuré le Taux Métabolique au Repos (TMR en kcal), après avoir défini un seuil cliniquement bas, signe d'un déficit énergétique. Ils ont observé une diminution significative du TMR entre T1 (pré-compétition) et T2 (compétition) chez les femmes du groupe « athlète » ($p<0.009$). Ainsi à T2, plus de 65% des femmes de ce groupe se trouvaient en dessous du seuil clinique du TMR ($p<0.009$). Ils n'ont cependant pas observé de différence significative entre les groupes. **Kyte et al.** ont retrouvé une différence de variables métaboliques entre les groupes, notamment un taux d'insuline plus faible chez les coureuses ($p=0.022$). **Heikura et al.** ont mesuré les taux hormonaux via prise de sang, mais n'ont retrouvé aucune différence significative relative à la disponibilité énergétique. **Carson et al.** et **Ackerman et al.** définissaient un dysfonctionnement métabolique si l'athlète déclarait avoir expérimenté une fréquence cardiaque de repos anormalement basse (FCR). La prévalence de ce symptôme atteignait 4% ($p=0.0009$, Ackerman et al.) à 14% (Carson et al.) des athlètes identifiées « FDE ».

7.4.11. Autres conséquences explorées

Whitney et al. étudiaient uniquement les conséquences de la faible disponibilité énergétique sur la fonction urinaire de la femme. En effet, sur le même échantillon que celui étudié par Ackerman et al. (cf. Tableau III), ils évaluaient l'association entre l'incontinence urinaire d'effort (IU) et la disponibilité énergétique. Ils ont reporté les résultats suivants : les femmes avec une faible disponibilité énergétique avaient plus de risque de faire de l'incontinence urinaire que les femmes à la disponibilité énergétique adéquate (OR = 1.97 ; IC 95% = 1.39-2.81). Les variables telles que la catégorie sportive et la fonction menstruelle étaient contrôlées.

Tableau IV : Résultats des études

	Whitney et al.	Mathisen et al.	Kyte et al.	Heikura et al.	Carson et al.	Ackerman et al.
Fonction menstruelle		24% d'AME à T3 ↗ LEAF-MI		37% d'AME	53% de troubles menstruels	48% (FDE) OR=1.93 (1.49-2.49)
Santé osseuse		↘ DMO N.S.		N.S.	75% ≥ 1 antécédent de fracture	27% (FDE) p=0.0319 OR=1.72 (1.31-2.26)
Fonction cardio-vasculaire		↘ FCR	N.S.		34% Pr. élevée en LC2	10% (FDE) OR=2.53 (1.49-4.32)
Fonction Gastro-intestinale		↗ LEAF-GD			54% ↗ LEAF-GD	56% (FDE) OR=1.50 (1.19-1.92)
Santé mentale		Signes de dépression N.S. = changements d'humeur			Dépression : 24% Anxiété : 53% Prédominante en LC3	50% (FDE) OR=2.41 (1.86-3.13)
Croissance et développement					N.S.	N.S.
Fonction hématologique					58% d'antécédents d'anémie	32% (FDE) OR=1.64 (1.24-2.18)
Fonction immunitaire					15% « + malade que les autres »	N.S.
Fonction endocrinienne			N.S. sauf ↘ LH	N.S.	10%	3% (FDE)
Fonction métabolique		↘ TMR	Variables métaboliques plus faibles	N.S.	14% TMR bas	4% TMR bas (FDE) OR=3 (1.32-6.87)
Autres impacts	IU : 21% (FDE) vs 12%. OR=1.97 (1.39-2.81)					

AME : aménorrhée – LEAF-MI/GD : item dysfonction menstruelle/gastro-intestinale – OR : odd ratio – LC2 : classe d'analyse latente 2 – Pr. : prévalence - N.S. : non significatif – TMR : Taux Métabolique au Repos FCR : fréquence cardiaque de repos – FDE : % du groupe identifié faible disponibilité énergétique

8. Discussion

Une étude de cohorte et cinq études transversales ont été retenues pour répondre à la question « *Comment s'expriment les conséquences à court et long terme du déficit en énergie dans le cadre du syndrome RED-S, chez l'athlète féminine ?* »(51–56). Nous nous attendions à trouver des conséquences impliquant les 10 axes décrits par le consensus du COI (cf. 4.2 ; 6.2.2), mais aussi d'autres conséquences plus secondaires.

La dysfonction menstruelle, les impacts sur le plan gastro-intestinal et hématologique, la fragilité sur le plan psychologique et les troubles de la santé osseuse sont les conséquences les plus communément retrouvées (Tableau IV). Des troubles de la fonction cardio-vasculaire et des fonctions endocrinienne et métabolique sont également reportés de manière importante. Les troubles de la croissance et du développement ainsi que les troubles de la fonction immunitaire sont quant à eux peu présents au sein des études qui les recherchent. Une seule étude recherchait et reportait un impact de la FDE sur l'incontinence urinaire. Cette revue nous montre qu'en tant que MK, nous retrouverons ces symptômes davantage chez les patientes sportives à haute intensité que chez les autres patientes.

8.1. Interprétation des résultats

La **dysfonction menstruelle**, avec une aménorrhée ou une oligoménorrhée, est l'un des symptômes les plus prévalents au sein de ces études (cf. Tableau IV). Cela concorde avec la littérature quand on voit que 30 à 79% des sportives pratiquant un sport esthétique déclarent avoir des troubles menstruels (58), contre 9 à 30% des femmes dans la population générale en âges de procréer (59). C'est une des conséquences les plus faciles à mesurer, car le relaté de la femme est fiable : elle sait dire si elle est réglée ou non, à quelle fréquence.

Les dysfonctions menstruelles sont fortement associées à **la santé osseuse** et à la présence des marqueurs du remodelage osseux (60). Il n'est donc pas étonnant de retrouver les symptômes de faible DMO et dysfonctions menstruelles de prévalences similaires. Il a été identifié que les athlètes aménorrhéiques pouvaient perdre 2 à 3% de leur masse osseuse par an si elles ne sont pas prises en charge (39).

Dans la population générale, la prévalence de faible DMO chez les 20-36 ans atteint les 9% (61) ; chez les athlètes aménorrhéiques, elle va de 1,4 à 50% (62).

Certaines études comme celle d'Heikura et al. ne retrouvent pas d'association significative entre la disponibilité énergétique et la DMO (cf. Tableau IV). Cela dit la DMO est liée à la fonction menstruelle, notamment une aménorrhée installée sur le long terme, alors que le calcul de la disponibilité énergétique dans les études transversales est ponctuel. Il peut arriver à un moment où la charge d'entraînement est moins importante ou l'alimentation mieux gérée par exemple. Il faudrait un suivi longitudinal pour une telle association.

La santé osseuse est aussi le reflet de la fonction endocrinienne : l'hypoestrogénie intervient en augmentant le renouvellement physiologique osseux par formation-réduction aux dépens de l'ostéogénèse (60). En ce sens, il est étonnant de constater la faible prévalence des troubles endocriniens au sein des études. La fonction endocrinienne dans les études d'Ackerman et al. et Carson et al. est évaluée par le simple fait d'avoir connu des troubles de la fonction thyroïdienne, ce qui peut expliquer la prévalence et le manque de données concernant les taux hormonaux.

Dans le cadre du RED-S, l'impact de la FDE sur la **fonction gastro-intestinale** est un symptôme retrouvé chez plus d'une athlète à risque de FDE sur deux au sein des études de Carson et al. et Ackerman et al. Dans la population générale, près de 44% des 18-39 sont concernés par des troubles de la fonction gastro-intestinale (63).

La fonction gastro-intestinale des athlètes est fortement liée aux troubles alimentaires (64). Les symptômes suivants sont observés en cas d'anorexie mentale : augmentation du temps de transit, diarrhée ou constipation, altération du fonctionnement des sphincters (64,65). L'anorexie mentale est le « refus catégorique de s'alimenter pendant une période plus ou moins longue, dans le but de perdre du poids ou de ne pas en prendre » (65). C'est un comportement que l'on peut retrouver principalement chez les jeunes filles sportives (1,20).

Au sein des études qui les recherchent, les troubles gastro-intestinaux sont évalués par le questionnaire « LEAF-Q » (42).

Pouvant être un sujet relativement tabou, l'évaluer par questionnaire nous paraît être la bonne manière. On pourrait imaginer que ce symptôme soit sous-estimé au sein des études par

entretien. Une manière plus fiable de connaître la santé gastro-intestinale d'une athlète pourrait consister en un suivi longitudinal, avec un calendrier des symptômes tenu par l'athlète.

Les symptômes gastro-intestinaux en fonction de la disponibilité énergétique ne sont pas décrits dans la littérature.

Les problèmes d'ordre psychologique peuvent être la cause ou la conséquence du syndrome RED-S, ils sont intimement liés. De nombreux symptômes psychologiques sont retrouvés chez ces athlètes, tels que l'inefficacité, la restriction cognitive, un désir élevé de minceur, et des troubles alimentaires (41). Pourtant, la santé mentale paraît peu impactée si nous nous fions aux résultats de Mathisen et al., alors qu'elle possède une prévalence élevée dans les études de Carson et al. et Ackerman et al. (24 à 50% de troubles psychologiques de type anxiété ou dépression chez les femmes à risque de FDE). La littérature montre que 58% des athlètes féminines voient leur santé mentale être affectée au cours de leur vie, contre 18% à 34% dans la population générale (66,67). Cela dit dans une méta-analyse de 2017, aucune différence n'est retrouvée entre les athlètes et non-athlètes (68).

Le questionnaire de Mathisen et al. cherche uniquement à trouver les symptômes de dépression. Ainsi, le fait qu'aucune femme n'atteigne le seuil minimal signant une dépression, ne veut pas dire que la santé mentale est peu affectée. L'augmentation des symptômes observée entre T1 et T2 peut indiquer un changement dans l'humeur lié au contexte (compétition et régime spécifique), et cela peut s'apparenter à de l'anxiété. Les trois études qui s'intéressent à la santé mentale le font via un questionnaire. Cela constitue une limite dans le sens où il est difficile d'investiguer la santé psychologique de cette manière. A contrario, il serait intéressant de faire passer un entretien avec une personne qualifiée dans ce domaine, capable d'identifier les symptômes. Une étude a montré que les athlètes répondent plus honnêtement aux questions de l'ordre de la santé mentale lors d'un entretien que via un questionnaire (69).

Ensuite, les résultats concernant les autres conséquences liées à la FDE identifiées dans ces études ne nous paraissent pas suffisamment interprétables.

La **fonction cardio-vasculaire** est évaluée de différentes manières : Carson et Ackerman et al. reprennent les questions du PPE (Pre-Participation Evaluation) concernant les antécédents cardio-vasculaires personnels et familiaux de la sportive (70) ; Mathisen et al. évaluent la FCR ; Kyte et al. évaluent la qualité des tissus de la fonction cardio-vasculaire, et les profils métaboliques reliés à cette fonction. Cette diversité rend la comparaison des résultats difficile. Les résultats apportés par Carson et al. et Ackerman et al. comportent des biais. Avoir des antécédents cardio-vasculaire personnels ou familiaux indique un risque de développer des maladies cardio-vasculaires plus élevé, et sont une indication pour une surveillance plus poussée (70). Cela ne montre en aucun cas une santé cardio-vasculaire impactée par la FDE ou le sport intensif. De plus, le fait de faire appel aux souvenirs de la sportive renforce la subjectivité de l'évaluation. Mathisen et al. retrouvent des résultats cohérents. Cela dit la FCR n'est pas représentative à elle seule de la fonction cardio-vasculaire (41).

Des conséquences sur la fonction cardiovasculaire ont été reportées dans la littérature. Rickenlund et al. reportent des troubles de la fonction endothéliale et un profil lipidique défavorable chez les coureuses de distance présentant une aménorrhée fonctionnelle hypothalamique (FHA). Cela aurait des effets sur la fonction cardio-vasculaire à long terme (71). Par ailleurs, certains auteurs suggèrent une fonction protectrice de l'œstrogène sur le système cardio-vasculaire (72,73). Le déficit en œstrogène, dans le contexte de FHA, pourrait donc mettre en danger la fonction cardio-vasculaire.

Les **fonctions endocrinienne, métabolique** et hématologique sont probablement sous-estimées par ces études, car elles font aussi appel au relaté, et seuls Kyte et al. se réfèrent à des mesures cliniques, sans résultats significatifs.

Le système endocrinien, système de régulation de l'organisme, utilise des hormones comme transmetteurs entre les différents organes et tissus. Ces hormones sont produites et gérées par des glandes telles que la thyroïde, les glandes surrénales ou l'hypophyse, et contrôlent le fonctionnement métabolique. Il est possible de contrôler ces données via la mesure des taux hormonaux (41). Dans le cadre d'un déficit énergétique, on peut observer des dysfonctions thyroïdiennes, une dysfonction de l'axe hypothalamo-hypophyso-gonadique et une altération de

la production de ces hormones (estradiol, leptine, grehline, cortisol, insuline, hormone de croissance... (41)).

Les impacts du déficit énergétique sur la fonction endocrinienne sont faiblement retrouvés dans cette revue de littérature. Kyte et al. retrouvaient uniquement une diminution de LH, hormone responsable de la production des hormones sexuelles. La fonction métabolique, mesurée via le TMR, est légèrement plus impactée.

Les résultats apportés par Carson et al. et Ackerman et al. nous paraissent peu interprétables pour plusieurs raisons :

- « Avoir expérimenté un TMR bas » est subjectif dans le sens où aucun seuil n'est défini, et certaines athlètes l'expérimentent peut-être régulièrement (à chaque compétition par exemple) alors que d'autres l'ont expérimenté une seule fois. Ce biais peut donner une surestimation du nombre de sportives concernées.
- Le fait de faire appel aux souvenirs de la sportive renforce la subjectivité de l'évaluation.

En parallèle, plusieurs études ont déjà associé le DE avec des répercussions sur la fonction endocrinienne et métabolique (74–76). Ce déficit, associé à un stockage insuffisant de masse grasse et au stress lié à l'exercice physique, aurait des répercussions entre autres sur le cycle menstruel (37).

Ensuite, l'ensemble des études évaluant la **fonction hématologique** (recherchant une carence en Fer), n'ont pas réalisé de prise de sang, l'examen de référence. Mis à part la présence de certains symptômes alertant tels qu'une pâleur ou fatigue exagérée, il est difficile pour une participante de connaître son statut sanguin (77). Le Fer est essentiel au transport et au stockage de l'oxygène dans l'organisme via le sang. Une carence en Fer, appelée anémie lorsqu'elle est diagnostiquée, est fortement liée au déficit en énergie. Elle a pour conséquence une diminution de l'hématopoïèse et du transport de l'oxygène. Associés, la carence en Fer et le déficit en énergie peuvent altérer la fonction thyroïdienne, mais aussi la santé osseuse (78). Ainsi, l'altération de la fonction hématologique semble entrer dans le cercle vicieux de la faible disponibilité énergétique.

Par ailleurs, des retards de **croissance** sont observés chez certaines athlètes. La croissance est étroitement liée au système endocrinien. Elle découle aussi des comportements alimentaires, de

la fonction menstruelle et de la santé mentale de la sportive, qui peut aller jusqu'à l'anorexie mentale notamment (41). Il peut être observé dans ce contexte une diminution en IGF-1 (facteur de croissance insulinoïque 1), une diminution des hormones de croissance et une augmentation de la résistance aux hormones de croissance (79). On peut statuer d'un problème de croissance avec le suivi médical de la sportive en évaluant la fonction endocrinienne, la santé osseuse. On peut aussi observer des anomalies sur la courbe de croissance de l'adolescente (80).

Les deux études recherchant des troubles de la croissance le font de manière rétrospective, interrogeant le souvenir de la participante d'avoir eu des troubles de la croissance. Ainsi, Ackerman et al. et Carson et al. ne retrouvent pas de résultats significatifs.

Selon nous, rechercher précisément des troubles de la croissance nécessiterait un suivi à partir de la puberté ou du début de l'activité sportive par exemple, et jusqu'à la fin de la croissance. Une analyse des courbes de croissance à posteriori pourrait se révéler suffisante et plus simple pour une étude transversale. Se fier uniquement aux souvenirs des participantes induit un fort biais de subjectivité dans les données collectées, ce qui peut expliquer le manque de significativité.

Enfin, le déficit en énergie apparaît être associé à une moins bonne **fonction immunitaire** et donc à un plus haut risque de maladie (81). Certaines études montrent aussi une altération de la fonction immunitaire juste après l'activité physique (82). Ces données concordent avec les résultats de cette revue de littérature, dans le sens où 15% des athlètes interrogées par Carson et al. s'estiment plus souvent malades que les autres. Cela dit, ces résultats font appel aux estimations des participantes et à leur propre référentiel, impliquant une très grande subjectivité. De plus, Carson et al. ne mesurent pas le déficit en énergie, donc il ne nous est pas possible de faire le lien entre les participantes concernées et leur statut énergétique. Cela nous amène à relever les biais et limites de cette revue de la littérature.

8.2. Limites de la revue

Dans le cadre d'un mémoire de fin d'études, il n'était pas possible de réaliser un suivi longitudinal d'un groupe d'athlète, bien que cela aurait été une manière efficace d'identifier les impacts du déficit en énergie. Il convenait donc de réaliser une revue de la littérature scientifique, intégrant des études de ce type. Une seule étude longitudinale a pu être incluse au sein de la revue de littérature. Cette dernière ne mesure pas toutes les conséquences décrites par le consensus du CIO, au contraire des études transversales de Carson et al. et Ackerman et al. Le regroupement des résultats de cette revue de littérature est impossible en raison de l'hétérogénéité des variables recherchées par les auteurs.

L'évaluation méthodologique des études par l'échelle sQAT OCCS a révélé de meilleurs éléments concernant l'étude de cohorte de Mathisen et al (cf. Annexe 2). Cela s'explique par les faits suivants : celle-ci mesurait le facteur d'exposition (FDE) ; elle était définie sur une temporalité suffisante par son caractère longitudinal ; elle offrait plusieurs niveaux d'exposition (T1, T2, T3 avec modification du régime alimentaire, et traitement des données selon le niveau sportif).

Le risque de biais dans les études incluses était variable : aucune étude n'a précisé la taille d'échantillon minimal significatif. Si certaines études avaient un échantillon important (211 à 1000 femmes ; Carson et al., Ackerman et al. et Whitney et al.), il était faible au sein des autres études (31 à 51 femmes, groupe « actif » et groupe contrôle compris) et cela a pu compromettre la validité externe des études. Le taux de participation aux études dépassait toujours 50%. Ce chiffre est à modérer dans la mesure où l'étude de Carson et al. n'a rapporté finalement que 21% de questionnaires complétés. C'est un biais important, puisque nous pouvons considérer que seules les participantes se sentant concernées par les questions, donc plus touchées par les symptômes, ont répondu entièrement au questionnaire.

Aucune étude n'a précisé la mise en aveugle des évaluateurs ou autres parties ; ceci dit, cela était difficilement possible dans le cadre des questionnaires. L'ensemble des études sauf celle de Kyte et al. a réalisé un ajustement des résultats en fonction des variables confondantes (âge, poids, taille, sport pratiqué, etc.).

La population totale de la revue est relativement importante (cf. 7.2), ce qui peut être un point fort de notre revue. Cependant, Whitney et al. et Ackerman et al., les deux études ayant le plus gros échantillon (1000 participantes), ont en fait le même échantillon. Cela n'influence pas les résultats de notre revue de la littérature, mais lui confère un poids moins important concernant l'envergure de la population. De plus, les athlètes ont été incluses dans cette étude via la clinique du sport, donc elles avaient déjà une plainte ou un souci de santé, ce qui peut les différencier de la population des sportives en général. Pour contrecarrer ce biais de sélection, la présence de FDE a été réévaluée en contrôlant les problématiques de santé.

Les études font fortement appel au relaté des participantes, et ainsi laissent place à une grande subjectivité. Les mesures cliniques, lorsqu'elles sont présentes, sont fiables mais corrélées à d'autres données subjectives telles que la position sur la courbe de croissance au cours de l'enfance (Carson et al.). Une revue de la littérature avec des critères d'inclusion plus sévères sur la méthodologie des études aurait été d'un niveau de preuve plus élevé.

Nous nous attendions à trouver un plus grand nombre d'articles ressemblant à celui de Whitney et al., c'est à dire observant des conséquences secondaires à celles identifiées par le consensus. Cela nous aurait permis d'approfondir le sujet, d'en savoir davantage sur la santé de l'athlète à long terme. Le cas échéant, le travail de traitement des données aurait été plus important et non-réalisable dans un délai si court que celui dont nous avons profité.

Il faudrait, pour répondre à notre question plus en profondeur, faire une revue de la littérature pour chaque conséquence primaire énoncée : conséquences de l'aménorrhée, conséquences de la faible densité minérale osseuse, conséquences de troubles de la croissance et du développement, conséquence de l'anémie, etc.

Notre équation de recherche ne permettait pas de détailler la recherche ; nous aurions pu utiliser plusieurs équation de la sorte :

(RED-S OR "low energy availability") AND ("gastrointestinal function" OR "menstrual function" OR "immunological function") etc pour chaque conséquence établie par le consensus.

Cela aurait permis de dégager des résultats plus pertinents, avec des études spécifiques à chaque domaine. De la même manière, nous n'avons pas utilisé le mot prévalence dans notre équation.

Nous recherchions surtout un ensemble de conséquences, mais utiliser le mot prévalence nous aurait peut-être permis d'avoir plus de données, et de hiérarchiser l'importance des symptômes.

8.3. Intérêt clinique et perspectives professionnelles

La revue de ces six articles scientifiques montre que la FDE dans le cadre du syndrome RED-S est très présente chez les femmes sportives, avec une prévalence de 28% à 47,3% des participantes identifiées en déficit énergétique ou à haut risque de déficit énergétique (cf. Tableau III). Chez ces participantes, les conséquences sont nombreuses.

Le masseur-kinésithérapeute (MK), bien que professionnel de la santé, ne peut agir sur tous les impacts du syndrome (avis diététique, traitement pharmacologique, etc). Pourtant, selon l'OMS (Organisme Mondial de la Santé), la santé est « un état complet de bien-être physique, mental et social ». En tant que professionnel de la santé nous devons donc tout mettre en œuvre pour assurer la santé des patients, par nos propres moyens, ou en réorientant vers les personnes plus qualifiées (44). Étant amené à prendre en charge ce type de patientèle, nous allons avoir un rôle dans le domaine de la prévention, mais aussi pour le dépistage et le traitement de certains symptômes lorsque cela est possible (44). Nous sommes susceptible de prendre en charge les athlètes pour des conséquences secondaires du syndrome ou des pathologies externes, et certains signes doivent nous faire questionner l'athlète.

Notre rôle de dépistage va passer par différentes actions : observation de la patiente et analyse du relaté (blessures à répétition, mauvaise santé générale, baisse de performance, guérison longue). Il est aussi recommandé de faire remplir certains questionnaires à la patiente qui se présente à nous. Le LEAF-Q évalue le risque de FDE ; le Triad Consensus Panel Screening Tool est recommandé pour dépister les symptômes de la triade et un risque de FDE (39,42).

Le consensus du COI a développé le RED-S CAT (Clinical Assessment Tool) pour aider les professionnels du sport et de la santé à dépister et gérer le syndrome RED-S chez l'athlète (83). Il demande encore à être validé scientifiquement, mais peut guider la prise de décision (cf. Annexe 3).

Une réponse positive à ces questionnaires doit nous amener à orienter la patiente vers les professionnels qualifiés. Si le déficit en énergie vient d'une sous-alimentation involontaire par exemple, un avis diététique peut-être suffisant. Si par contre l'athlète souffre de troubles de l'alimentation, avec un comportement indiquant une volonté de perdre du poids au-delà du raisonnable, la consultation d'un professionnel de la santé mentale associée à un avis diététique peuvent s'avérer nécessaire (39).

Notre rôle est de guider la patiente et de la conseiller. Il est intéressant de l'orienter d'abord vers un traitement non-pharmacologique consistant à rétablir la disponibilité énergétique, et à diminuer la charge d'entraînement. En effet il a été montré qu'augmenter l'apport en énergie et diminuer la charge d'entraînement permettait un gain de poids dans le cadre de la Triade de l'athlète (39). On sait également que le gain de poids est associé au retour des menstruations, et que ces effets sont suivis d'une amélioration de l'état de santé sur d'autres plans tels que la densité minérale osseuse ou la fonction endothéliale (39). Il apparaît donc qu'il faut normaliser la disponibilité énergétique avant de chercher à soigner les autres symptômes.

Cependant, ce processus s'étale sur le temps : si retrouver un statut énergétique peut se faire rapidement (quelques jours/semaines), le statut menstruel et la récupération d'une bonne fonction osseuse sont des processus plus longs (cf. [Figure 4](#)).

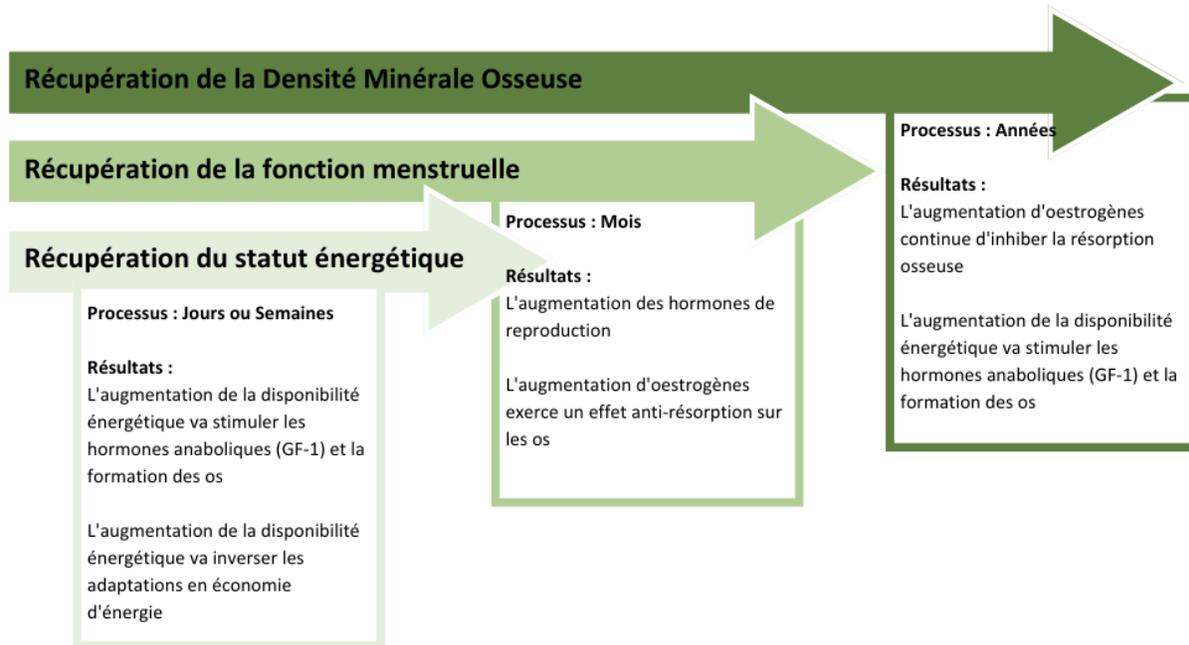


Figure 4 : Traitement de la Triade de l'Athlète Féminine.

Traduction du consensus sur le traitement et le retour à la performance (ou « Return to play ») de la Triade de l'Athlète Féminine, 2012 & 2013. Les trois composantes de la triade récupèrent à un rythme différent lorsque le traitement est approprié (De Souza MJ et al.)(39)

En tant que MK, nous pouvons amener l'athlète à moduler son activité physique pour optimiser le retour un à statut énergétique adéquat et à une bonne santé générale. Pour augmenter la DMO et réduire la dépense énergétique, en limitant le moins possible l'athlète dans ses entraînements, il est recommandé de remplacer le travail cardiovasculaire par un entraînement en résistance. Il est également nécessaire de passer à une activité physique en charge, au contraire du cyclisme ou de la natation qui ne sollicitent pas suffisamment le remodelage osseux dans un contexte de guérison du RED-S ou de la Triade (84,85). La pliométrie pourrait s'avérer également efficace, si l'athlète n'est pas dans un contexte de guérison de fracture de fatigue. Introduire de nouvelles formes d'exercice amènerai de nouvelles adaptations du squelette (86,87).

Enfin, il est primordial que l'athlète soit prise en charge par une équipe pluridisciplinaire (38,39). Le MK doit interagir avec le diététicien, le psychiatre, l'entraîneur, l'athlète et sa famille, et tous les professionnels de santé affecté par la prise en charge de l'athlète. Il doit veiller à ce que les

objectifs fixés respectent au mieux les objectifs de l'athlète (performance, état de santé, style de vie)(39).

En tant que future masseur-kinésithérapeute, nous souhaitons mettre en pratique ces recommandations. Il nous paraît aisé d'intégrer à notre bilan kinésithérapique quelques questions rapides permettant de savoir si l'athlète est à risque ou non. Cela passera également par l'observation et l'analyse du relaté de la patiente. Nous nous sentons capable d'expliquer ce syndrome à la patiente. Pour rappel, le syndrome RED-S touche aussi les hommes ; il est donc important de transposer ces réflexes de dépistage à la patientèle masculine, bien qu'il nous faille connaître les symptômes spécifiques à cette population.

9. Conclusion

Les femmes et jeunes filles dans le monde du sport sont exposées à des risques pour leur santé. Le syndrome RED-S en est une illustration. Cette revue de littérature s'appuie sur cinq études transversales et une étude de cohorte. Les résultats montrent des impacts à différents niveaux sur la santé physique et mentale de l'athlète. S'il n'est pas étonnant de retrouver une grande prévalence de troubles menstruels et de troubles de la santé osseuse, symptômes depuis longtemps observés dans le cadre de la Triade de l'athlète, d'autres impacts moins connus ont été retrouvés dans cette revue. La fonction gastro-intestinale, la fonction hématologique ou encore la fonction immunitaire, plus discrètes, sont touchées par le déficit énergétique et entrent dans le cercle vicieux du syndrome.

Ce travail offre un point de vue sur l'expression des différentes conséquences du RED-S mais d'autres conséquences plus secondaires se dessinent. Une revue systématique de chaque axe touché par le RED-S et de ses conséquences devrait être réalisée pour une meilleure compréhension du syndrome. Cela dit, cette revue de la littérature est suffisante pour alerter nos pairs sur l'importance de prévenir ce syndrome chez les athlètes et de le faire connaître au sein des équipes de soins du sportifs et de la communauté sportive en général.

Ce mémoire de fin d'études signe la fin de notre cursus de formation initiale, et nous invite à porter un regard professionnel sur la suite. La formation continue fait partie intégrante du métier de masseur-kinésithérapeute, et peut porter sur la prise en charge de la femme sportive. Le masseur-kinésithérapeute, membre d'une équipe pluridisciplinaire, peut user de sa proximité avec l'athlète pour prévenir, reconnaître et dépister les symptômes. Il doit conseiller, supporter et accompagner l'athlète durant la phase de traitement, en interaction avec les autres professionnels de santé. Malgré une progression dans la connaissance de ce syndrome dans la littérature scientifique une proportion de 41 à 44% des femmes sont encore identifiées à moyen/haut risques du RED-S (88,89). Cela questionne sur l'information des athlètes, et de leur équipe de soin et d'entraînement, dont fait partie le masseur-kinésithérapeute.

Références bibliographiques

1. Moscone AL, Leconte P, Scanff CL. L'anorexie et l'activité physique, une relation ambiguë. *Mov Sport Sci - Sci Mot.* 2014;(84):51-9.
2. Ministère des solidarités et de la santé, Ministère des Sports. Stratégie Nationale Sport Santé 2019-2024. 2019. Disponible sur: https://sante.gouv.fr/IMG/pdf/la_strategie_nationale_sport_sante_2019-2024.pdf
3. Organisation Mondiale de la Santé. Recommandations mondiales en matière d'activité physique pour la santé [Internet]. Disponible sur: <https://www.who.int/fr/news/item/04-06-2018-who-launches-global-action-plan-on-physical-activity>
4. Décision n° 2018.0155/DC/SA3P du 26 septembre 2018 du collège de la Haute Autorité de santé portant adoption de six documents relatifs à la promotion, consultation et prescription médicale d'activité physique et sportive pour la santé [Internet]. Haute Autorité de Santé; 2018 sept. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/jcms/c_2876934/fr/decision-n-2018-0155/dc/sa3p-du-26-septembre-2018-du-college-de-la-haute-autorite-de-sante-portant-adoption-de-six-documents-relatifs-a-la-promotion-consultation-et-prescription-medicale-d-activite-physique-et-sportive-pour-la-sante
5. Haute Autorité de Santé. L'activité physique : votre meilleure alliée santé [Internet]. 2022. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/jcms/p_3385126/fr/l-activite-physique-votre-meilleure-alliee-sante
6. Croutte P, Müller J. Baromètre national des pratiques sportives 2020 [Internet]. INJEP; 2021 févr. Disponible sur: <https://www.vie-publique.fr/rapport/278813-barometre-national-des-pratiques-sportives-2020>
7. INJEP, MEDES. Recensement des licences et clubs sportifs rattachés aux fédérations sportives agréées par le ministère en charge des sports [Internet]. 2022 juill. Disponible sur: <https://injep.fr/donnee/recensement-des-licences-et-clubs-sportifs-2021/>
8. Loucks AB. Energy Balance and Energy Availability. In: *The Encyclopaedia of Sports Medicine* [Internet]. John Wiley & Sons, Ltd; 2013. p. 72-87. Disponible sur: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118692318.ch5>
9. Gibbs JC, Williams NI, De Souza MJ. Prevalence of Individual and Combined Components of the Female Athlete Triad. *Med Sci Sports Exerc.* mai 2013;45(5):985-96.
10. Melin AK, Heikura IA, Tenforde A, Mountjoy M. Energy Availability in Athletics: Health,

Performance, and Physique. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 1 mars 2019;29(2):152-64.

11. Viner RT, Harris M, Berning JR, Meyer NL. Energy Availability and Dietary Patterns of Adult Male and Female Competitive Cyclists With Lower Than Expected Bone Mineral Density. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* déc 2015;25(6):594-602.

12. Mountjoy M, Sundgot-Borgen J, Burke L, Carter S, Constantini N, Lebrun C, et al. The IOC consensus statement: beyond the Female Athlete Triad—Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). *Br J Sports Med.* avr 2014;48(7):491-7.

13. Institut National de la Santé et Recherche Médicale. *Activité physique : Contextes et effets sur la santé* [Internet]. Paris: INSERM; 2008 p. 811. Disponible sur: <https://www.ipubli.inserm.fr/handle/10608/80>

14. Mountjoy M, Sundgot-Borgen J, Burke L, Carter S, Constantini N, Lebrun C, et al. The IOC consensus statement: beyond the Female Athlete Triad—Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). *Br J Sports Med.* 1 avr 2014;48(7):491-7.

15. Logue D, Madigan SM, Delahunt E, Heinen M, Mc Donnell SJ, Corish CA. Low Energy Availability in Athletes: A Review of Prevalence, Dietary Patterns, Physiological Health, and Sports Performance. *Sports Med.* janv 2018;48(1):73-96.

16. Sundgot-Borgen J, Torstveit MK. Prevalence of eating disorders in elite athletes is higher than in the general population. *Clin J Sport Med Off J Can Acad Sport Med.* janv 2004;14(1):25-32.

17. Ravi S, Ihalainen JK, Taipale-Mikkonen RS, Kujala UM, Waller B, Mierlahti L, et al. Self-Reported Restrictive Eating, Eating Disorders, Menstrual Dysfunction, and Injuries in Athletes Competing at Different Levels and Sports. *Nutrients.* 19 sept 2021;13(9):3275.

18. Zaccagni L, Gualdi-Russo E. The Impact of Sports Involvement on Body Image Perception and Ideals: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health.* 22 mars 2023;20(6):5228.

19. Fédération Française de Gymnastique. 300 000 licenciés à la FFGym [Internet]. 2020 Disponible sur: https://www.ffgym.fr/content/2017_-_mars_-_f_f_g_y_m_la_federation_compte_plus_de_300000_licencies

20. Martinsen M, Bratland-Sanda S, Eriksson AK, Sundgot-Borgen J. Dieting to win or to be thin? A study of dieting and disordered eating among adolescent elite athletes and non-athlete controls. *Br J Sports Med.* 1 janv 2010;44(1):70-6.

21. Boisseau N, Duclos M, Guinot M. La femme sportive: spécificités physiologiques et

physiopathologiques [Internet]. De Boeck Supérieur. 2009. Disponible sur: https://books.google.fr/books/about/La_femme_sportive.html?id=rE8pAwAAQBAJ&redir_esc=y

22. Pina M, Angle M, Murphy C, INTRAH, School of Medicine. Le cycle menstruel et sa relation avec les méthodes contraceptives. 1998.

23. Reed BG, Carr BR. The Normal Menstrual Cycle and the Control of Ovulation. In: Feingold KR, Anawalt B, Boyce A, Chrousos G, de Herder WW, Dhatariya K, et al., éditeurs. Endotext [Internet]. South Dartmouth (MA): MDText.com, Inc.; 2000. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279054/>

24. Maître C. Sportives de haut niveau : Les cycles, les règles, la contraception et la performance. INSEP. 22 avr 2022;32.

25. Verrilli L, Blanchard H, Landry M, Stanic A. Prevalence and predictors of oligomenorrhea and amenorrhea in division 1 female athletes. *Fertil Steril*. 1 sept 2018;110(4):e245.

26. Carmichael MA, Thomson RL, Moran LJ, Wycherley TP. The Impact of Menstrual Cycle Phase on Athletes' Performance: A Narrative Review. *Int J Environ Res Public Health*. 9 févr 2021;18(4):1667.

27. Verhoef SJ, Wielink MC, Achterberg EA, Bongers MY, Goossens SMTA. Absence of menstruation in female athletes: why they do not seek help. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 23 nov 2021;13(1):146.

28. Papanek PE. The female athlete triad: an emerging role for physical therapy. *J Orthop Sports Phys Ther*. oct 2003;33(10):594-614.

29. Otis CL, Drinkwater B, Johnson M, Loucks A, Wilmore J. American College of Sports Medicine position stand. The Female Athlete Triad. *Med Sci Sports Exerc*. mai 1997;29(5):i-ix.

30. Mehta J, Thompson B, Kling JM. The female athlete triad: It takes a team. *Cleve Clin J Med*. avr 2018;85(4):313-20.

31. Loucks AB, Kiens B, Wright HH. Energy availability in athletes. *J Sports Sci*. janv 2011;29(sup1):S7-15.

32. Stice E, South K, Shaw H. Future Directions in Etiologic, Prevention, and Treatment Research for Eating Disorders. *J Clin Child Adolesc Psychol*. nov 2012;41(6):845-55.

33. Arthur-Cameselle J, Sossin K, Quatromoni P. A qualitative analysis of factors related to eating disorder onset in female collegiate athletes and non-athletes. *Eat Disord*.

2017;25(3):199-215.

34. Krentz EM, Warschburger P. A longitudinal investigation of sports-related risk factors for disordered eating in aesthetic sports. *Scand J Med Sci Sports*. juin 2013;23(3):303-10.

35. Sundgot-Borgen J. Risk and trigger factors for the development of eating disorders in female elite athletes. *Med Sci Sports Exerc*. avr 1994;26(4):414-9.

36. Martinsen M, Holme I, Pensgaard AM, Torstveit MK, Sundgot-Borgen J. The Development of the Brief Eating Disorder in Athletes Questionnaire. *Med Sci Sports Exerc*. août 2014;46(8):1666-75.

37. Wade GN, Jones JE. Neuroendocrinology of nutritional infertility. *Am J Physiol-Regul Integr Comp Physiol*. déc 2004;287(6):R1277-96.

38. Robertson S, Mountjoy M. A Review of Prevention, Diagnosis, and Treatment of Relative Energy Deficiency in Sport in Artistic (Synchronized) Swimming. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 1 juill 2018;28(4):375-84.

39. De Souza MJ, Nattiv A, Joy E, Misra M, Williams NI, Mallinson RJ, et al. 2014 Female Athlete Triad Coalition Consensus Statement on Treatment and Return to Play of the Female Athlete Triad: 1st International Conference held in San Francisco, California, May 2012 and 2nd International Conference held in Indianapolis, Indiana, May 2013. *Br J Sports Med*. févr 2014;48(4):289-289.

40. Ackerman KE, Holtzman B, Cooper KM, Flynn EF, Bruinvels G, Tenforde AS, et al. Low energy availability surrogates correlate with health and performance consequences of Relative Energy Deficiency in Sport. *Br J Sports Med*. mai 2019;53(10):628-33.

41. Mountjoy M, Sundgot-Borgen J, Burke L, Ackerman KE, Blauwet C, Constantini N, et al. International Olympic Committee (IOC) Consensus Statement on Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S): 2018 Update. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 1 juill 2018;28(4):316-31.

42. Melin A, Tornberg ÅB, Skouby S, Faber J, Ritz C, Sjödin A, et al. The LEAF questionnaire: a screening tool for the identification of female athletes at risk for the female athlete triad. *Br J Sports Med*. avr 2014;48(7):540-5.

43. De Souza MJ, Nattiv A, Joy E, Misra M, Williams NI, Mallinson RJ, et al. 2014 Female Athlete Triad Coalition Consensus Statement on Treatment and Return to Play of the Female Athlete Triad: 1st International Conference held in San Francisco, California, May 2012 and 2nd International Conference held in Indianapolis, Indiana, May 2013. *Br J Sports Med*. févr

2014;48(4):289.

44. République Française. Arrêté du 2 septembre 2015 relatif au diplôme d'Etat de masseur-kinésithérapeute [Internet]. BO Santé, NOR : AFSH1516238A sept 4, 2015. Disponible sur: <http://www.fnek.fr/wp-content/uploads/2019/12/BO.pdf>

45. GERBRON E. Femmes et Pratique Sportive : Le RED-S Syndrome. Le mag de l'IRMS². déc 2022;(28):18.

46. AMSTAR : a measurement tool to assess the methodological quality of systematic reviews [Internet]. [cité 8 févr 2023]. Disponible sur: https://www.inesss.qc.ca/fileadmin/doc/INESSS/DocuMetho/Amstar_FR_21012015.pdf

47. Thein-Nissenbaum J, Hammer E. Treatment strategies for the female athlete triad in the adolescent athlete: current perspectives. Open Access J Sports Med. avr 2017;Volume 8:85-95.

48. Shimizu Y, Mutsuzaki H, Tachibana K, Hotta K, Wadano Y. Investigation of the Female Athlete Triad in Japanese Elite Wheelchair Basketball Players. Medicina (Mex). 27 déc 2019;56(1):10.

49. Morse LR, Nguyen N, Battaglino RA, Guarino AJ, Gagnon DR, Zafonte R, et al. Wheelchair use and lipophilic statin medications may influence bone loss in chronic spinal cord injury: findings from the FRASCI-bone loss study. Osteoporos Int. déc 2016;27(12):3503-11.

50. Blauwet CA, Brook EM, Tenforde AS, Broad E, Hu CH, Abdu-Glass E, et al. Low Energy Availability, Menstrual Dysfunction, and Low Bone Mineral Density in Individuals with a Disability: Implications for the Para Athlete Population. Sports Med. sept 2017;47(9):1697-708.

51. Whitney KE, Holtzman B, Cook D, Bauer S, Maffazioli GDN, Parziale AL, et al. Low energy availability and impact sport participation as risk factors for urinary incontinence in female athletes. J Pediatr Urol. juin 2021;17(3):290.e1-290.e7.

52. Mathisen TF, Heia J, Raustøl M, Sandeggen M, Fjellestad I, Sundgot-Borgen J. Physical health and symptoms of relative energy deficiency in female fitness athletes. Scand J Med Sci Sports. janv 2020;30(1):135-47.

53. Kyte KH, Stensrud T, Berg TJ, Seljeflot I, Hisdal J. Vascular Function in Norwegian Female Elite Runners: A Cross-Sectional, Controlled Study. Sports. 2 mars 2022;10(3):37.

54. Heikura IA, Uusitalo ALT, Stellingwerff T, Bergland D, Mero AA, Burke LM. Low Energy Availability Is Difficult to Assess but Outcomes Have Large Impact on Bone Injury Rates in Elite Distance Athletes. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 1 juill 2018;28(4):403-11.

55. Carson TL, West BT, Sonnevile K, Zernicke RF, Clarke P, Harlow S, et al. Identifying latent classes of Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S) consequences in a sample of collegiate female cross country runners. *Br J Sports Med.* févr 2023;57(3):153-9.
56. Ackerman KE, Holtzman B, Cooper KM, Flynn EF, Bruinvels G, Tenforde AS, et al. Low energy availability surrogates correlate with health and performance consequences of Relative Energy Deficiency in Sport. *Br J Sports Med.* mai 2019;53(10):628-33.
57. Joy E, De Souza MJ, Nattiv A, Misra M, Williams NI, Mallinson RJ, et al. 2014 Female Athlete Triad Coalition Consensus Statement on Treatment and Return to Play of the Female Athlete Triad: *Curr Sports Med Rep.* 2014;13(4):219-32.
58. Klentrou P. Onset of puberty, menstrual frequency, and body fat in elite rhythmic gymnasts compared with normal controls. *Br J Sports Med.* 1 déc 2003;37(6):490-4.
59. Ghosh M, Busby G. Menstrual dysfunction. *Obstet Gynaecol Reprod Med.* nov 2019;29(11):320-5.
60. Maître C. Les troubles du cycle de la sportive. Diagnostic et prise en charge. *Sci Sports.* avr 2013;28(2):97-102.
61. Zeidan ZA, Sultan IE, Guraya SS, Al-Zalabani AH, Khoshhal KI. Low bone mineral density among young healthy adult Saudi women. Prevalence and associated factors in the age group of 20 to 36 years. *Saudi Med J.* nov 2016;37(11):1225-33.
62. Gibbs JC, Williams NI, De Souza MJ. Prevalence of Individual and Combined Components of the Female Athlete Triad. *Med Sci Sports Exerc.* mai 2013;45(5):985-96.
63. Sperber AD, Bangdiwala SI, Drossman DA, Ghoshal UC, Simren M, Tack J, et al. Worldwide Prevalence and Burden of Functional Gastrointestinal Disorders, Results of Rome Foundation Global Study. *Gastroenterology.* janv 2021;160(1):99-114.e3.
64. Norris ML, Harrison ME, Isserlin L, Robinson A, Feder S, Sampson M. Gastrointestinal complications associated with anorexia nervosa: A systematic review: GASTROINTESTINAL COMPLICATIONS IN ANOREXIA NERVOSA. *Int J Eat Disord.* mars 2016;49(3):216-37.
65. INSERM. Anorexie mentale [Internet]. Inserm. 2020 [cité 11 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.inserm.fr/dossier/anorexie-mentale/>
66. Ramón-Arbués E, Gea-Caballero V, Granada-López JM, Juárez-Vela R, Pellicer-García B, Antón-Solanas I. The Prevalence of Depression, Anxiety and Stress and Their Associated Factors in College Students. *Int J Environ Res Public Health.* 24 sept 2020;17(19):7001.

67. Åkesdotter C, Kenttä G, Eloranta S, Franck J. The prevalence of mental health problems in elite athletes. *J Sci Med Sport*. avr 2020;23(4):329-35.
68. Gorczynski PF, Coyle M, Gibson K. Depressive symptoms in high-performance athletes and non-athletes: a comparative meta-analysis. *Br J Sports Med*. sept 2017;51(18):1348-54.
69. Martinsen M, Sundgot-Borgen J. Higher Prevalence of Eating Disorders among Adolescent Elite Athletes than Controls. *Med Sci Sports Exerc*. juin 2013;45(6):1188-97.
70. MacDonald J, Schaefer M, Stumph J. The Preparticipation Physical Evaluation. *Am Fam Physician*. 1 mai 2021;103(9):539-46.
71. Rickenlund A, Eriksson MJ, Schenck-Gustafsson K, Hirschberg AL. Amenorrhea in Female Athletes Is Associated with Endothelial Dysfunction and Unfavorable Lipid Profile. *J Clin Endocrinol Metab*. mars 2005;90(3):1354-9.
72. Mendelsohn ME. Protective effects of estrogen on the cardiovascular system. *Am J Cardiol*. juin 2002;89(12):12-7.
73. Cid MC, Schnaper HW, Kleinman HK. Estrogens and the Vascular Endothelium. *Ann N Y Acad Sci*. juin 2002;966(1):143-57.
74. Melin A, Tornberg ÅB, Skouby S, Møller SS, Sundgot-Borgen J, Faber J, et al. Energy availability and the female athlete triad in elite endurance athletes: Energy availability in female athletes. *Scand J Med Sci Sports*. oct 2015;25(5):610-22.
75. Woods AL, Garvican-Lewis LA, Lundy B, Rice AJ, Thompson KG. New approaches to determine fatigue in elite athletes during intensified training: Resting metabolic rate and pacing profile. Piacentini MF, éditeur. *PLOS ONE*. 15 mars 2017;12(3):e0173807.
76. Koehler K, De Souza MJ, Williams NI. Less-than-expected weight loss in normal-weight women undergoing caloric restriction and exercise is accompanied by preservation of fat-free mass and metabolic adaptations. *Eur J Clin Nutr*. mars 2017;71(3):365-71.
77. Ameli. Symptômes et diagnostic de l'anémie [Internet]. 2022. Disponible sur: <https://www.ameli.fr/assure/sante/themes/anemie/symptomes-diagnostic>
78. Petkus DL, Murray-Kolb LE, De Souza MJ. The Unexplored Crossroads of the Female Athlete Triad and Iron Deficiency: A Narrative Review. *Sports Med*. sept 2017;47(9):1721-37.
79. Fazeli PK, Klibanski A. Determinants of GH resistance in malnutrition. *J Endocrinol*. mars 2014;220(3):R57-65.
80. Modan-Moses D, Yaroslavsky A, Novikov I, Segev S, Toledano A, Miterany E, et al.

Stunting of Growth as a Major Feature of Anorexia Nervosa in Male Adolescents. *Pediatrics*. 1 févr 2003;111(2):270-6.

81. Drew MK, Vlahovich N, Hughes D, Appaneal R, Peterson K, Burke L, et al. A multifactorial evaluation of illness risk factors in athletes preparing for the Summer Olympic Games. *J Sci Med Sport*. août 2017;20(8):745-50.

82. Coad S, Gray B, McLellan C. Seasonal Analysis of Mucosal Immunological Function and Physical Demands in Professional Australian Rules Footballers. *Int J Sports Physiol Perform*. juill 2016;11(5):574-80.

83. Mountjoy M, Sundgot-Borgen J, Burke L, Carter S, Constantini N, Lebrun C, et al. RED-S CAT. Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S) Clinical Assessment Tool (CAT). *Br J Sports Med*. avr 2015;49(7):421-3.

84. Kelley GA, Kelley KS, Kohrt WM. Exercise and Bone Mineral Density in Premenopausal Women: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Int J Endocrinol*. 2013;2013:1-16.

85. Bailey CA, Brooke-Wavell K. Exercise for optimising peak bone mass in women: Postgraduate Symposium. *Proc Nutr Soc*. févr 2008;67(1):9-18.

86. Ducher G, Turner AI, Kukuljan S, Pantano KJ, Carlson JL, Williams NI, et al. Obstacles in the Optimization of Bone Health Outcomes in the Female Athlete Triad: *Sports Med*. juill 2011;41(7):587-607.

87. Daily JP, Stumbo JR. Female Athlete Triad. *Prim Care*. déc 2018;45(4):615-24.

88. Marzuki MIH, Mohamad MI, Chai WJ, Farah NMF, Safii NS, Jasme JK, et al. Prevalence of Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S) among National Athletes in Malaysia. *Nutrients*. 30 mars 2023;15(7):1697.

89. Sim AHX. Prevalence of relative energy deficiency in sport (red-s) risk amongst amateur and recreational athletes in Singapore. 2018; Disponible sur: <https://hdl.handle.net/10356/75849>

Annexe 1Première page du LEAF-Q (Melin et al. 2014)

Le questionnaire intégral contient 6 pages : en plus de celle-ci, trois pages sur la fonction menstruelle, une page sur la fonction gastro-intestinale et une page sur les blessures.

October 30, 2013 [THE LEAF-Q]

The low energy availability in females questionnaire (LEAF-Q), focuses on physiological symptoms of insufficient energy intake. The following pages contain questions regarding injuries, gastrointestinal and reproductive function. We appreciate you taking the time to fill out the LEAF-Q and the reply will be treated as confidential.

Name: _____

Address: _____

E-mail: _____

Cell: _____

Profession: _____

Education: _____

Age: _____ (years)

Height: _____ (cm) Weight: _____ (kg)

Your highest weight with your present height: _____ (kg)
(excluding pregnancy)

Your lowest weight with your present height: _____ (kg)

Do you smoke? Yes No

Do you use any medication (excluding oral contraceptives)? Yes No

If yes, what kind of medication?

Your normal amount of training (average) – number of hours per week and what kind of exercise, such as running, swimming, bicycling, strength training, technique training etc.:

Comments or further information regarding exercise:

Annexe 2

Évaluation méthodologique par l'échelle sQAT OCCS

	Mathisen et al.	Whitney et al.	Kyte et al.	Heikura et al.	Carson et al.	Ackerman et al.
Objectif	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Population	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Participation >50%	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Recrutement	✓	✓	✓	✗	✓	✓
Variance/taille d'effet/taille échantillon	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Mesure facteur d'exposition	✓	✗	✗	✗	✗	✗
Temporalité	✓	✗	✗	✗	✗	✗
Niveau d'exposition	✓	✗	✗	✓	✗	✓
Exposition	✓	✗	✗	✗	✗	✗
Mesure répétée de l'exp.	CD	✗	✗	✗	✗	✗
Outcome	✗	✗	✓	✓	✗	✗
Évaluateur des résultats en aveugle	NR	NA	NR	NR	NR	NA
Perdus de vue <20%	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ajustement variables confondantes	✓	✓	NR	✓	✓	✓
TOTAL /14	10	6	7	7	6	7

NR : non reporté – NA : non adapté – CD : ne peut être déterminé

L'échelle sQAT OCCS ([study Quality Assessment Tool for Observational Cohort and Cross-Sectional Studies](#)) est composée de 14 questions qui évaluent la qualité des études observationnelles et études de cohortes. Nous l'avons choisi sur ce critère. Elle n'est pas standardisée, elle sert donc de guide, et laisse le lecteur apprécier la qualité des articles par lui-même.

Annexe 3

RED-S Clinical Assessment Tool (Mountjoy et al. 2015)

Modèle RED-S d'évaluation des risques pour la participation au sport

Ce modèle peut être incorporé dans l'examen médical périodique. En fonction des antécédents et de l'examen physique, l'athlète est classé dans une des 3 catégories suivantes : «**Feu Rouge**»: Risque élevé, «**Feu Jaune**»: Risque modéré, «**Feu Vert**»: Risque faible.

RISQUE ÉLEVÉ : PAS DE PARTICIPATION FEU ROUGE	RISQUE MODÉRÉ : PRUDENCE FEU JAUNE	RISQUE FAIBLE : FEU VERT
<ul style="list-style-type: none"> - Anorexie mentale et autres troubles du comportement alimentaire sérieux - Autres affections médicales sérieuses (psychologiques et physiologiques) en lien avec une disponibilité énergétique basse - Utilisation de techniques extrêmes de perte de poids menant à la déshydratation et à l'instabilité hémodynamique ainsi qu'à d'autres situations potentiellement mortelles 	<ul style="list-style-type: none"> - Pourcentage de graisse corporelle anormalement bas mesuré par anthropométrie ou par DXA* sur une période prolongée - Perte de poids substantielle (5-10 % de masse corporelle en un mois) - Ralentissement de croissance et de développement de l'athlète adolescent 	<ul style="list-style-type: none"> - Physique approprié qui est géré sans stress excessif, alimentation malsaine ou stratégies d'exercice
	<ul style="list-style-type: none"> - DE** basse prolongée et/ou sévère 	<ul style="list-style-type: none"> - Habitudes alimentaires saines avec DE appropriée
	<ul style="list-style-type: none"> - Cycle menstruel anormal : aménorrhée hypothalamique fonctionnelle > 3 mois - Absence de ménarche jusqu'à 15 ans chez les femmes 	<ul style="list-style-type: none"> - Fonctionnement du système endocrinien sain
	<ul style="list-style-type: none"> - Réduction de la densité minérale osseuse (en comparaison soit avec des résultats ultérieurs d'un DXA ou avec le score-Z < -1SD) - Antécédent de une ou plusieurs fractures de stress associée(s) à un dysfonctionnement hormonal / menstruel ou une DE basse 	<ul style="list-style-type: none"> - Densité minérale osseuse saine correspondante à la discipline sportive, l'âge et l'ethnie - Système musculo-squelettique sain
<ul style="list-style-type: none"> - Sévères anomalies électrocardiographiques (c.-à-d. bradycardie) 	<ul style="list-style-type: none"> - Athlètes présentant des complications physiques ou psychologiques en lien avec une DE basse / des conduites alimentaires perturbées - Anomalies au niveau de tests diagnostiques en lien avec une DE basse/ des conduites alimentaires perturbées 	
	<ul style="list-style-type: none"> - Déficit énergétique relatif prolongé - Conduites alimentaires perturbées affectant négativement d'autres membres de l'équipe - Absence de progrès dans le traitement et/ou non-respect du traitement 	
<p>* Dual energy X-ray Absorptiometry (Absorption biphotonique à rayons X) **DE: Disponibilité énergétique = apport énergétique – coût énergétique de l'activité (Surplus d'énergie dépensé pour l'activité physique).</p>		

NOTES pour les outils de diagnostic concernant une DE basse :
Bien qu'une disponibilité énergétique basse soit un facteur-clé de RED-S, il n'existe, pour le moment, aucun protocole standardisé pour évaluer l'énergie disponible chez un athlète in vivo. Certains experts en nutrition du sport ont peut-être développé des outils en lesquels ils croient pour calculer l'énergie disponible et les utilisent pour dépister des problèmes ou les guider pour les conseils diététiques. Cependant, une recommandation universelle pour mesurer l'énergie disponible est imprudente en l'absence d'un protocole pertinent, fiable, efficace et rentable.

Participation au sport basée sur les catégories de risques

«Risque élevé – Feu Rouge»: Pas d'autorisation de participation au sport

En raison de la sévérité du tableau clinique, une participation au sport pourrait mettre en péril la santé de l'athlète ou détourner son attention consacrée à son traitement et à sa guérison.

«Risque modéré – Feu Jaune»: Apte à la participation sportive uniquement sous surveillance et avec plan de traitement médical.

Une réévaluation des risques de participation doit être répétée à des intervalles réguliers de 1-3 mois en fonction du scénario clinique afin d'attester la conformité et de détecter des changements dans le statut clinique.

«Risque faible – Feu Vert»: Pas de restriction de participation.

Traitement du déficit énergétique relatif en sport (RED-S)

Les athlètes classés dans la catégorie «Feu Rouge» et «Feu Jaune» doivent bénéficier d'une évaluation médicale et d'un traitement médical. Le traitement du RED-S doit être entrepris par une équipe de professionnels de la santé comprenant, selon les besoins, un médecin du sport, un diététicien du sport, un physiologiste de l'exercice, un thérapeute sportif ou entraîneur, un psychologue du sport / psychiatre du sport. La confidentialité du patient doit être maintenue. Le traitement doit corriger le déficit énergétique relatif en augmentant l'apport énergétique et/ou en diminuant la dépense énergétique. L'apport de vitamines ou d'autres nutriments doit suivre les lignes directrices établies. Une mesure répétée de la densité minérale osseuse doit avoir lieu à intervalles réguliers de 6-12 mois, selon le tableau clinique et les valeurs initiales.

Le recours à un contrat avec l'athlète est aussi recommandé. (Voir annexe).

Étapes du processus de prise de décision dans l'évaluation des risques dus au déficit énergétique relatif dans le sport (RED-S) pour déterminer le retour à la compétition

Avant d'autoriser un athlète à reprendre son activité physique/sport après un traitement de RED-S, l'évaluation de l'état de santé de l'athlète et les exigences de son sport doivent être considérées selon l'approche par étapes suivante :

ÉTAPES	FACTEURS MODIFICATEURS DE RISQUES	CRITÈRES	CRITÈRES SPÉCIFIQUES À RED-S
ÉTAPE 1 Évaluation de l'état de santé	FACTEURS MÉDICAUX	<ul style="list-style-type: none"> - Caractères démographiques du patient - Symptômes - Antécédents médicaux - Signes - Tests diagnostiques - Santé psychologique - Gravité potentielle 	<ul style="list-style-type: none"> - Âge, sexe - Se référer à la colonne «Feu Jaune» du modèle de l'évaluation des risques - Régime récurrent, santé menstruelle, santé osseuse, - Perte / fluctuation du poids, faiblesse - Hormones, électrolytes, électrocardiogramme, DXA - Dépression, anxiété, conduites alimentaires perturbées / troubles du comportement alimentaire - Fonction hormonale / métabolique anormale - Arythmie cardiaque - Fracture de stress
ÉTAPE 2 Évaluation des risques de participation	FACTEURS DE RISQUE LIÉS AU SPORT	<ul style="list-style-type: none"> - Type de sport - Position - Niveau de compétition 	<ul style="list-style-type: none"> - Sport lié au poids, à la composition en masse maigre - Sport individuel vs sport d'équipe - Élite vs loisirs
ÉTAPE 3 Modification de la décision	FACTEURS INFLUENÇANT LA PRISE DE DÉCISION	<ul style="list-style-type: none"> - Timing & Saison - Pression de l'athlète - Pression externe - Conflit d'intérêt - Crainte des litiges 	<ul style="list-style-type: none"> - Pendant / en dehors de la saison, voyage, facteurs environnementaux - Capacité mentale à la compétition - Coach, appartenance à l'équipe, famille de l'athlète, sponsors - Si interdit de compétition

Modèle du retour à la compétition

Suite à la réévaluation clinique utilisant la marche à suivre de l'étape 3 décrite ci-dessus, les athlètes peuvent être reclassés dans une des 3 catégories «Risque élevé – Feu Rouge», «Risque modéré – Feu Jaune» ou «Risque faible – Feu Vert». Le modèle d'évaluation des risques dus à RED-S est adapté pour faciliter la prise de décision des cliniciens à déterminer la condition de l'athlète face à un retour à la compétition.

Le **modèle du retour à la compétition** de RED-S décrit l'activité physique recommandée pour chaque catégorie de risque

RISQUE ÉLEVÉ FEU ROUGE	RISQUE MODÉRÉ FEU JAUNE	RISQUE FAIBLE FEU VERT
<ul style="list-style-type: none"> - Pas de compétition - Pas d'entraînement - Recours à un contrat écrit 	<ul style="list-style-type: none"> - Peut s'entraîner tant que le plan de traitement est respecté - Peut prendre part à la compétition si médicalement autorisé et sous surveillance 	<ul style="list-style-type: none"> - Participation sans restriction à l'activité sportive