

# Mémoire de Capacité de Médecine du Sport

Analyse des pratiques sportives et évaluation rétrospective de l'incidence des principaux symptômes associés au syndrome du RED-S (déficit énergétique relatif au sport) chez une population de coureur

Soutenu le : 6 septembre 2023

Par : Dr. STAVAUX Edouard

Directeur du mémoire :

Dr. DAUTY Marc

Encadrement :

MORISSEAU Florence MKDE

Directrice France : « la clinique du coureur »

Années : 2022-2023

## TABLE DES MATIERES

<b>LISTE DES ABREVIATIONS.....</b>	<b>4</b>
<b>RESUME .....</b>	<b>5</b>
INTRODUCTION .....	5
OBJECTIFS .....	5
METHODES .....	5
RESULTATS.....	5
CONCLUSION .....	5
MOTS CLEFS .....	6
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>7</b>
FAIBLE DISPONIBILITE ENERGIQUE (LEA).....	8
ÉPIDEMIOLOGIE .....	8
CONSEQUENCES HORMONALES SUR APPAREIL REPRODUCTEUR FEMININ .....	9
CONSEQUENCES HORMONALES SUR APPAREIL REPRODUCTEUR MASCULIN .....	9
ATTEINTES OSSEUSES .....	10
EFFETS CARDIOVASCULAIRES.....	10
EFFETS HORMONAUX NON GONADIQUE (HORMONE ENDOCRINE ET CROISSANCE) .....	10
EFFETS SUR LA FONCTION GASTRO-INTESTINALE .....	11
COMPLICATIONS HEMATOLOGIQUES .....	11
ATTEINTE DU SYSTEME IMMUNITAIRE .....	11
SANTÉ MENTALE.....	11
<b>OBJECTIF .....</b>	<b>12</b>
<b>PATIENTS ET METHODE .....</b>	<b>12</b>
<b>ANALYSE STATISTIQUE.....</b>	<b>13</b>
<b>RESULTATS .....</b>	<b>14</b>
POPULATION RECRUTEE.....	14
SYMPTOMES .....	18
ALERTE.....	18
DIFFERENCE HOMME/FEMME.....	19
SYMPTOME CLEF : LES TROUBLES ALIMENTAIRES .....	22
<b>DISCUSSION.....</b>	<b>23</b>
RESULTATS PRINCIPAUX.....	23
PRINCIPAUX SYMPTOMES .....	23
<i>Fracture de stress</i> .....	23
<i>Troubles menstruels</i> .....	24
<i>Troubles alimentaires</i> .....	25
<i>Différence homme/femme</i> .....	25
<i>Alerte</i> .....	26
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>28</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>29</b>
<b>TABLE.....</b>	<b>33</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>36</b>

## LISTE DES ABREVIATIONS

CIO = Comité International Olympique

DMO = Densité Minérale Osseuse

EA = *Energie Available* (Disponibilité énergétique)

EEE = *Exercise Energy Expenditure* (Dépense énergétique d'exercice)

EI = *Energy Intake* (Apport énergétique alimentaire)

FFM = *Fat-Free Mass* (Masse maigre)

FSH = Hormone de Stimulation Folliculaire

GnRH = *Gonadotropin-Releasing Hormone*

IMC = Indice de Masse Corporelle

IGF-1 = Facteur de croissance analogue à l'insuline 1

LDL = Lipoprotéines de basse densité

LEA = *Low Energy Availability* (Faible disponibilité énergétique)

LH = Hormone Lutéinisante

ORL = Oto-Rhino-Laryngologie

POP = Pilule Œestrogéno-Progestative)

RED-S = *Relative Energy Deficiency in Sports* (Déficit énergétique relatif dans le sport)

SFMES = Société Française de Médecine du Sport

SOPK = Syndrome des Ovaires Poly-Kystiques

## RESUME

### **INTRODUCTION**

Le syndrome du déficit énergétique relatif dans le sport (RED-S) est peu connu chez les athlètes d'endurance. L'ancienne « triade féminine » avec aménorrhée, troubles osseux et alimentaire, touche également les hommes (sauf pour l'aménorrhée) et présente une multitude de symptômes. Le syndrome du surentraînement par RED-S est attribué à une faible disponibilité énergétique en inadéquation avec la dépense d'exercice physique. Il est à différencier de la fatigue sportive.

### **OBJECTIFS**

L'objectif de cette étude rétrospective a été d'évaluer l'incidence des principaux symptômes associés au syndrome du RED-S chez une population de coureurs.

### **METHODES**

2781 coureurs ont été recrutés via une campagne internet incluant podcasts et site internet.

Après avoir demandé de renseigner des informations personnelles et sportives, des questions plus spécifiques en rapport avec des symptômes de surentraînement par RED-S ont été posées. Au moins 4 réponses positives sur les 8 symptômes mixtes (excluant aménorrhée/dysménorrhée) ont défini la limite d'une alerte pouvant orienter vers un possible syndrome de surentraînement.

### **RESULTATS**

2714 réponses étaient exploitables. 71,2% des coureurs ne connaissaient pas le syndrome de surentraînement par RED-S.

Les symptômes les plus fréquemment retrouvés étaient : les blessures de sur-sollicitation (52,9%), les troubles de l'humeur (43,1%), du sommeil (38,1%), ou encore une baisse des performances sportives (31,7%). 24,9% renseignaient une variation d'apport alimentaire, plus fréquemment rapportée chez les femmes que chez les hommes (OR=0,37 [0,31-0,44]  $p<0,0001$ ). 24,8% des participants présentaient une alerte évocatrice d'un possible surentraînement avec une proportion des femmes significativement plus grande (OR=0,57 [0,48-0,68]  $p<0,0001$ ). A noter que 24,1% des coureuses rapportaient avoir présenté des troubles menstruels (irrégularité ou absence).

### **CONCLUSION**

Le syndrome de surentraînement par RED-S est peu connu et mériterait, en prévention primaire, d'être diffusé auprès des coureurs à pied. Les femmes étant plus touchées par les

troubles alimentaires, une attention particulière doit être portée à un éventuel risque de déficit énergétique lié à la pratique sportive.

***MOTS CLEFS***

Surentraînement, RED-S, Sport, Santé, Nutrition

## INTRODUCTION

Véhiculée par les réseaux sociaux et par la création d'épreuves sportives toujours plus longues, on assiste aujourd'hui à une normalisation des épreuves d'ultra endurance. On peut citer la PTL un ultra tour du Mont Blanc de 300 km avec 25 000 m de dénivelé positif à courir, ou encore la Race Across America (RAAM) reliant la côte Ouest à la côte Est américaine, sur une distance moyenne de 4 800 km à vélo.

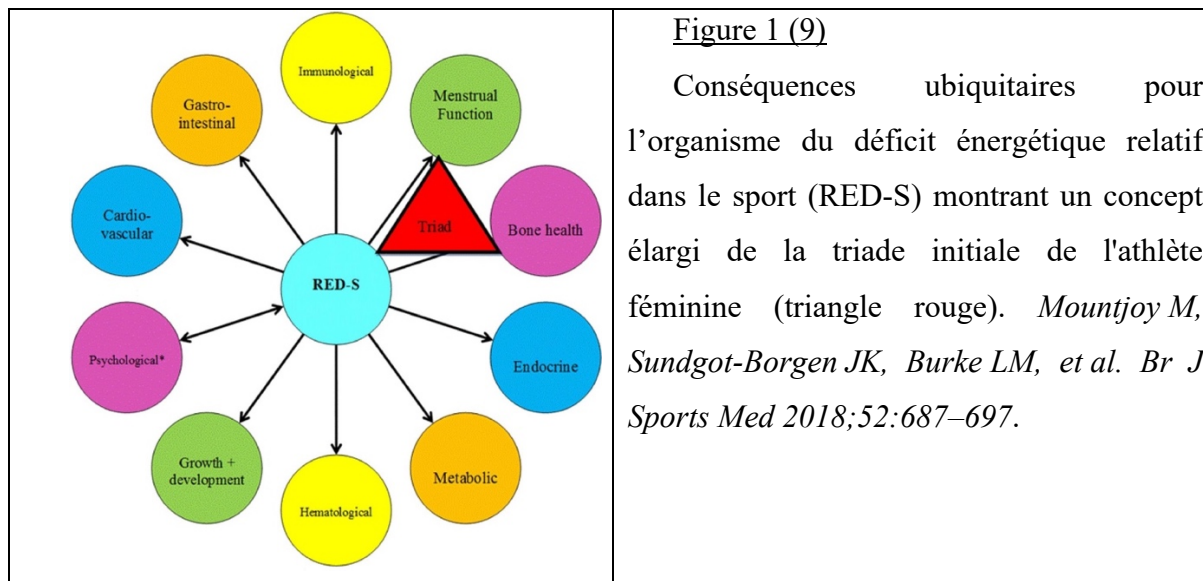
Cette progression actuelle des recherches de performances sportives a pour conséquence, une augmentation des entraînements en quantité (nombre ou durée des séances) ou en intensité.

La fatigue physique peut être normale, physiologique, voir recherchée après une séance d'entraînement (1). La périodisation de l'entraînement va planifier cet état de fatigue suivi de périodes de récupération, ou d'« affutage », dans le but d'induire une surcompensation et permettre à l'athlète de progresser (2). Par contre, une mauvaise balance entre cette fatigue et la récupération peut devenir pathologique et amener un déclin physique de la performance. Les conséquences physiologiques de ces périodes trop prolongées d'état de fatigue physique peuvent entraîner un surentraînement, responsable d'une stagnation voire d'une baisse durable des performances sportives. Cette rupture d'équilibre peut être couplée à un déficit énergétique qui alors entraîne un syndrome de surentraînement, cette fois appelé syndrome RED-S : « déficit énergétique relatif dans le sport » (3).

Les conséquences de ce syndrome sur la santé sont multiples, avec un impact sur le système hormonal, métabolique mais aussi sur le système immunitaire ou encore hématologique (4). Plusieurs organes peuvent donc être touchés, comme le système cardiovasculaire ou le système digestif, mais également les fonctions supérieures et la santé mentale (Figure 1).

Citée initialement en 1993 par l'« American College of Sport Medicine » puis reprise en 2005 par le CIO comme une triade exclusivement féminine nommé « Female athlete triad » (5), ce terme ancien et réducteur a été remplacé en 2014 par l'acronyme RED-S. La volonté était de souligner l'aspect multifactoriel de cette carence énergétique sur plusieurs systèmes d'organes (3), et de montrer son existence également chez les athlètes masculins (6) (7).

Cette triade a donc été redéfinie comme l'interrelation entre la faible disponibilité énergétique (plutôt que les troubles de l'alimentation), la dysfonction menstruelle (plutôt que l'aménorrhée) et une modification de la densité minérale osseuse (plutôt que l'ostéoporose) (8).



### **FAIBLE DISPONIBILITE ENERGIQUE (LEA)**

Les chercheurs attribuent les complications médicales observées dans le RED-S à une faible disponibilité énergétique (LEA), où la disponibilité énergétique (EA) est définie comme l'apport énergétique alimentaire (EI) moins la dépense énergétique d'exercice (EEE) divisée par la masse sans graisse (FFM) soit  $(EI-EEE)/FFM$  par jour.

L'énergie disponible (EA) peut également être considérée conceptuellement comme l'énergie restante après l'exercice pour le fonctionnement physiologique basal (thermorégulation, croissance cellulaire, entretien et reproduction). Celle-ci est optimum quand la valeur est supérieure ou égale à 45 kcal/kg/jour. Les fonctions sont altérées pour des disponibilités énergétiques inférieures à 30 kcal/kg/jour.

C'est ce déséquilibre énergétique qui va entraîner une altération de la fonction physiologique de plusieurs systèmes d'organes, avec au total 10 effets et donc 10 baisses potentielles de performance. A noter qu'il n'est pas nécessaire que les 10 effets soient tous présents pour poser le diagnostic de syndrome de RED-S. Il existe plusieurs questionnaires de dépistage du surentraînement dont un questionnaire américain nommé LEAF (10) ainsi qu'un questionnaire élaboré par la SFMES, basé sur 54 questions (voir annexe 1).

### **ÉPIDEMIOLOGIE**

Des études de 2017 à 2019 ont montré des estimations de prévalence du surentraînement d'environ 22 à 58% pour une variété de sports (11). Ces estimations sont principalement basées sur des marqueurs de substitution (par exemple l'aménorrhée, les blessures, ...) et/ou l'auto-déclaration des symptômes. Les sports qui demandent une maigreur représentent les sport à risques, comme l'athlétisme, la course de fond, le cyclisme, la lutte, la gymnastique,



l'aviron et la natation synchronisée, où un rapport puissance / masse corporelle plus élevé est censé contribuer à un meilleur potentiel de performance (12).

D'après une étude Nord-Américaine de 2022, 100% des pom-pom girls compétitives présentaient une LEA, tout comme les nageurs synchronisés par le passé (13).

En Australie, chez les athlètes élite et pré-élites, via des questionnaires validés sur les symptômes RED-S, près de 80% ont présenté au moins un symptôme compatible, tandis que près de 40% ont présenté au moins 2 symptômes (14).

La prévalence du surentraînement chez les jeunes est alors estimée entre 20 et 37% (15).

À l'inverse, dans les sports dits techniques (golf, plongeon, curling, équitation, tir) ou les sports de balle (volley, basket) la fréquence des troubles du cycle n'est pas plus élevée chez les athlètes ayant une activité sportive intensive (jusqu'à 12 à 18 heures d'entraînement par semaine) par comparaison avec des femmes non sportives (16).

Des études récentes ont montré que seulement 15% des entraîneurs sont conscients de ce syndrome, et 89% sont incapables d'identifier ne serait-ce qu'un seul de ses symptômes (12).

#### **CONSEQUENCES HORMONALES SUR APPAREIL REPRODUCTEUR FEMININ**

Des niveaux normaux d'œstrogènes jouent un rôle important pour plusieurs systèmes d'organes et en particulier pour la santé osseuse et cardiovasculaire (17).

Les troubles du cycle chez la sportive surentraînée sont d'origine centrale hypothalamo-hypophysaire avec une diminution de la pulsativité de la GnRH induisant une diminution de la pulsativité de la LH et FSH hypophysaires (18), et donc une réduction de production d'estradiol dans les ovaires. On peut être alors face une aménorrhée  $\geq 3$ mois associé à des taux sanguins d'estradiol  $< 50$ pg/ml et LH, FSH  $< 10$ mUI/ml (19).

Cette perte de pulsativité de la GnRH est la conséquence principale d'un déficit en une hormone : la leptine. En effet cette dernière est proportionnelle à la masse de tissu adipeux, et va alors agir comme un signal métabolique pour l'axe gonadotrope. On retrouve des récepteurs à la leptine, entre autres, au niveau de l'hypothalamus mais aussi au niveau de l'ovaire (20).

Il n'existe pas de consensus sur les seuils de niveaux de testostérone chez les femmes qui peuvent être confondus avec des troubles hyper-androgènes sous-jacent (exemple : SOPK) (18).

#### **CONSEQUENCES HORMONALES SUR APPAREIL REPRODUCTEUR MASCULIN**

Les hommes dans un état de LEA présentent également des changements hormonaux. Un hypogonadisme secondaire est observé chez les athlètes masculins participant à des sports

d'endurance ou à des sports dans lesquels la maigreur est accentuée. (testostérone normale ou faible avec une LH anormalement faible) (18).

Plusieurs seuils sanguins existent, de 8 nmol/L (230 ng/dL) à 10,4 nmol/L (300 ng/dL) comme marqueur de déficit biologique en testostérone (7).

Il n'existe cependant pas de relation dose/temps entre LEA et un faible taux de testostérone et les hommes semblent avoir des seuils de résistance plus importants que les femmes.

Certains théorisent même que l'hypogonadisme masculin lié à l'exercice peut être dû uniquement à une charge d'entraînement excessive (pas nécessairement dans le cadre de LEA) et peut être de nature transitoire (21).

### ***ATTEINTES OSSEUSES***

Les athlètes féminines atteintes de LEA ont des scores Z de densité minérale osseuse (DMO) significativement inférieurs ou identiques à ceux observés chez la femme ménopausée. Cette fragilité entraîne alors une augmentation du risque de fracture de stress.

On constate par contre, que les effets ne sont pas complètement réversibles avec la reprise des règles ou avec une supplémentation en œstrogènes, indiquant une part non ostrogénique à l'homéostasie osseuse (22). Chez l'homme les preuves sont moins solides mais ils présentent tout de même des DMO significativement inférieurs associée à une réduction significative des marqueurs hormonaux de la formation osseuse (18). Par contre les conséquences osseuses vont être plus sévères et durables que chez les femmes (7).

### ***EFFETS CARDIOVASCULAIRES***

Chez les athlètes féminines chroniquement en hypoestrogénie, il est retrouvé des profils lipidiques défavorables (taux élevés de LDL, de triglycérides et de cholestérol total) et un dysfonctionnement endothélial inflammatoire qui expose à un risque de maladie vasculaire coronarienne, similaire aux femmes ménopausées (23).

Il existe aussi, un déficit d'adaptation cardiovasculaires à l'effort, compte tenu des altérations du système rénine-angiotensine-aldostérone (4) responsables de bradycardie, baisse de la tension artérielle et perturbation de la capacité à répondre à un défi orthostatique (se lever rapidement).

### ***EFFETS HORMONAUX NON GONADIQUE (HORMONE ENDOCRINE ET CROISSANCE)***

Les hormones endocrines impliquées dans la régulation de l'appétit et les voies de l'appétit/récompense alimentaire sont dérégulées dans le cadre de la LEA.

En plus de la leptine, déjà décrite précédemment, plusieurs hormones sont diminuées voir supprimées (14) :

- L'insuline (libérée par le pancréas régulant le stockage énergétique et la glycémie) ;
- L'IGF-1 (produit par le foie, nécessaire à l'anabolisme musculaire/osseux et au métabolisme des macronutriments) ;
- Les hormones thyroïdiennes T3 et T4 conduisant au syndrome euthyroïdien ;
- L'hormone de croissance avec à long terme une conséquence sur la taille de l'individu ;

On retrouve par ailleurs des niveaux de cortisol élevés, incitant le corps à utiliser des réserves d'énergie alternatives (métabolisme catabolique plutôt qu'anabolique), le forçant ainsi à fonctionner dans un état métaboliquement destructeur.

#### ***EFFETS SUR LA FONCTION GASTRO-INTESTINALE***

Les effets gastro-intestinaux signalés sont nombreux (nausées, vomissements, diarrhée, douleurs abdominales, ballonnements, dysphagie ou perte d'appétit) (14). Une augmentation de la perméabilité intestinale et des modifications marquées du microbiote intestinal ont été observées après 4 jours de grave déficit énergétique chez des soldats norvégiens (24).

#### ***COMPLICATIONS HEMATOLOGIQUES***

Les complications hématologiques sont principalement portées sur l'anémie ferriprive secondaire à la fois à un apport alimentaire en fer réduit et à une demande accrue chez les athlètes (via le transport en oxygène aux muscles à l'exercice). Cette anémie a également des effets négatifs sur la fonction thyroïdienne et l'efficacité métabolique, exacerbant potentiellement davantage la symptomatologie (25).

#### ***ATTEINTE DU SYSTEME IMMUNITAIRE***

Il existe des preuves limitées sur le rôle de RED-S sur le système immunitaire. Le CIO a cependant noté, en 2018, une augmentation des taux d'infection ORL et de maladie gastro-intestinal chez les athlètes identifiés comme ayant une LEA aux Jeux olympiques de 2016 (4).

#### ***SANTE MENTALE***

Bien que l'activité physique et l'exercice soient généralement reconnus pour améliorer l'humeur, les problèmes psychologiques peuvent être l'effet ou la cause des états de LEA.

Les athlètes féminines présentent une tolérance au stress plus faible, des traits plus dépressifs et des troubles psychosomatiques. Les femmes sont également particulièrement exposées à une image corporelle déformée et à des troubles de l'alimentation. Les hommes ne sont pas non plus à l'abri de ces pressions, car des études montrent que les restrictions

alimentaires et l'entraînement en force sont associés à des comportements boulimiques chez certains athlètes masculins (4).

## OBJECTIF

L'objectif principal a donc été d'étudier la connaissance du RED-S chez les coureurs à pied. Les objectifs secondaires ont été d'apprécier s'il existait une différence entre les hommes et les femmes, de savoir si les symptômes du RED-s pouvaient être liés à la pratique sportive (durée hebdomadaire, expérience de la course à pied) et enfin de savoir si certains coureurs étaient à risque de surentraînement par RED-S (notion d'alerte).

## PATIENTS ET METHODE

Les coureurs à pieds ont été recrutés via une campagne internet incluant un site web informatif [www.surentraînement.fr](http://www.surentraînement.fr) ainsi qu'un podcast sur le thème du RED-S (7<sup>ème</sup> épisode de la 2<sup>ème</sup> saison de « *La Bande à D+* » : « #27 Les ravages du syndrome RED-S chez les coureurs à pied et les athlètes de sports d'endurance »).

La campagne a été conduite entre le 8 avril 2023 et le 30 juin 2023 et les utilisateurs ont pu répondre à 23 questions sur leur pratique de la course à pied.

Il leur a tout d'abord été demandé s'ils connaissaient le syndrome RED-S, puis après avoir renseigné des informations personnelles (sexe, âge, poids taille,) des questions sur leurs pratiques sportives leur ont été posées (ancienneté en course à pied et en sport en général, volume horaire hebdomadaire, format et fréquence des compétitions).

Puis, des questions plus spécifiques en rapport avec des symptômes du RED-S leur ont été posées (antécédent de blessure de contrainte, fatigue inhabituelle, baisse du niveau de performance, infection ORL à répétition, variation du poids, trouble des conduites alimentaires, aménorrhée/dysménorrhée, troubles du sommeil et afin de l'humeur).

Pour les participants ayant répondu positivement à la présence d'au moins 4 symptômes sur les 8 symptômes mixtes en excluant aménorrhée/dysménorrhée, il a été défini une alerte pouvant orienter vers un possible syndrome de surentraînement.

## ANALYSE STATISTIQUE

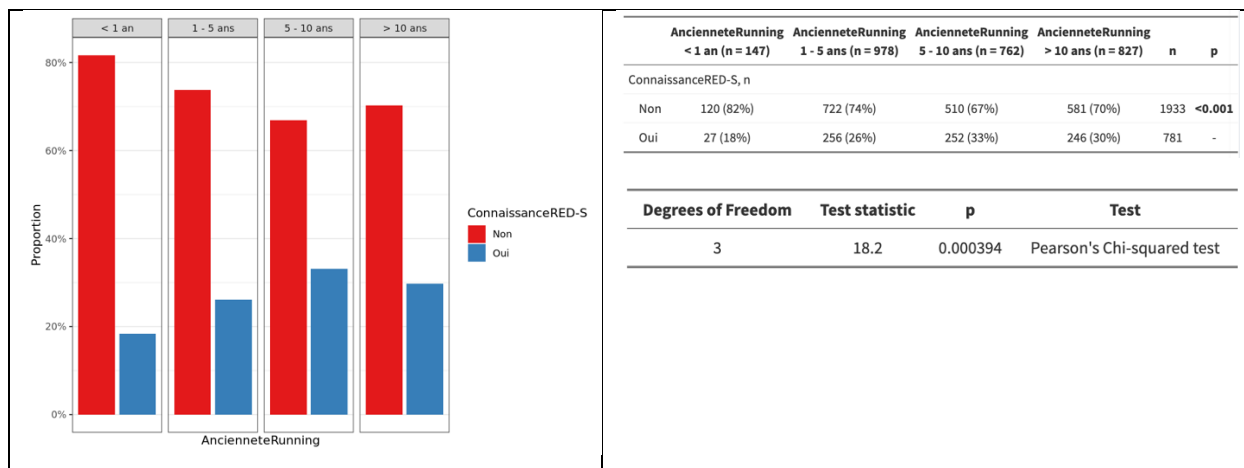
Le logiciel de statistiques EPI INFO version 7.2.5, édité en accès libre par le « Center For Diseases Control » a été utilisé. Les tests statistiques usuels pour la comparaison des hommes et des femmes, des moyennes (test de Welch), médianes (test de Mann Whitney) et des variables qualitatives exprimées en pourcentage (test du Chi 2 ou test exact de Fisher ainsi que le Welch Two Sample t-test) ont été utilisés. Les liens entre le risque de surentrainement et la pratique de la course à pied a été étudié par la recherche de corrélation de Pearson. Le seuil de significativité a été fixé pour  $p < 0,05$ .

Les graphiques ont été réalisés à l'aide de Medistica. *pvalue.io, a Graphic User Interface to the R statistical analysis software for scientific medical publications*. 2021, disponible sur <https://www.pvalue.io/fr>

## RESULTATS

### POPULATION RECRUTEE

Il y a eu 2781 réponses entre le 8 avril et le 30 juin, et 2714 étaient complètes et éligibles pour l'étude. Parmi eux 71,2% [IC 95% : 69,4-72,9] ne connaissaient pas le syndrome du RED-S et il n'y a pas de différence homme/femme ( $p = 0,96$ ). Le syndrome du RED-S est davantage connu chez les participants qui pratiquaient la course à pied depuis plus de 5 ans (33% pour les coureurs depuis 5 à 10 ans contre 18% chez les <1 an,  $p < 0,001$ , figure 14).



**Figure 2** : Connaissance du RED-S en fonction de l'ancienneté de pratique de la course à pied.

L'âge médian des participants à l'étude était de 39 ans avec 56,8% d'hommes et 43,2% de femmes.

L'IMC moyen était de 22,5 kg/m<sup>2</sup> avec 3,3% des participants qui présentaient une insuffisance pondérale (IMC <18,5) et 12,8% qui étaient en surpoids (IMC entre 25 et 30). Les femmes avaient un IMC moyen plus bas que les hommes (21,7 kg/m<sup>2</sup> contre 23,1 kg/m<sup>2</sup>,  $p=0,001$ ).

Sur le plan professionnel, l'activité physique pratiquée en journée était majoritairement mixte (45,6% des cas) selon une alternance de travail posté et actif. Cette activité professionnelle est décrite en figure 3 avec la répartition homme/femme significativement différente ( $p < 0.01$ ).

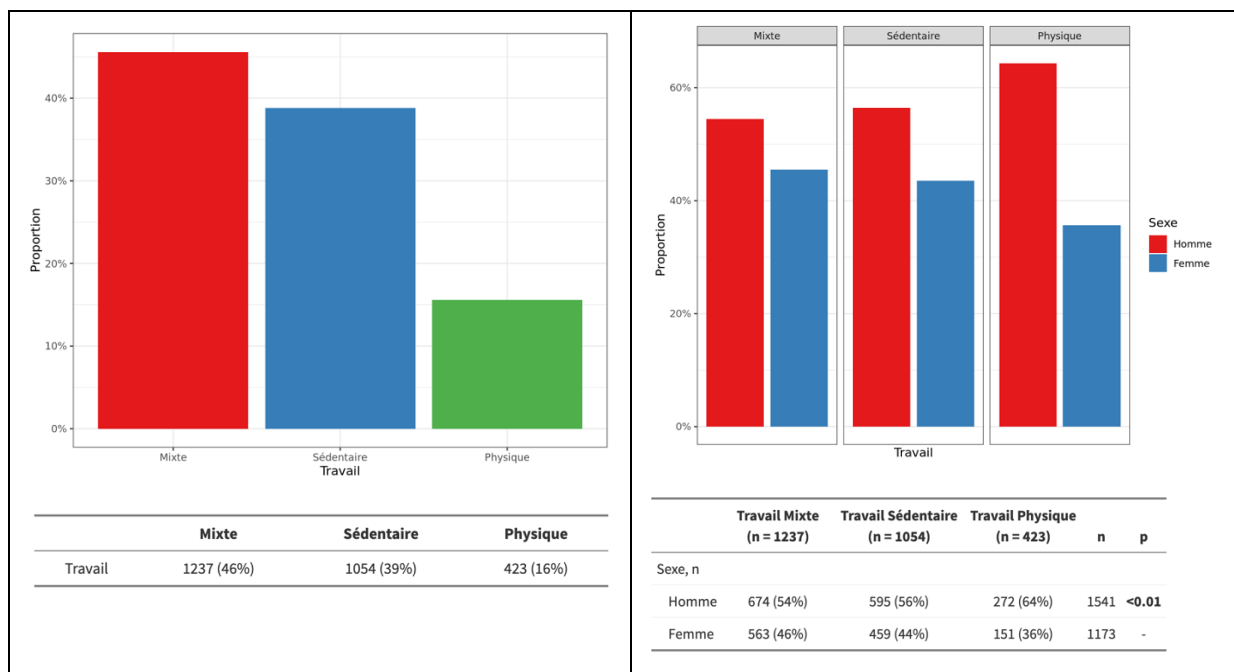


Figure 3 : Répartition activité professionnelle selon le sexe.

Une majorité des coureurs pratiquait la course à pied depuis 1 à 5 ans (36%) avec une part importante de coureurs qui couraient depuis plus de 10 ans (30,5%) (figure 4). La répartition homme/femme était significativement différente suivant l'ancienneté de la pratique de la course à pied ( $p < 0.001$ ).

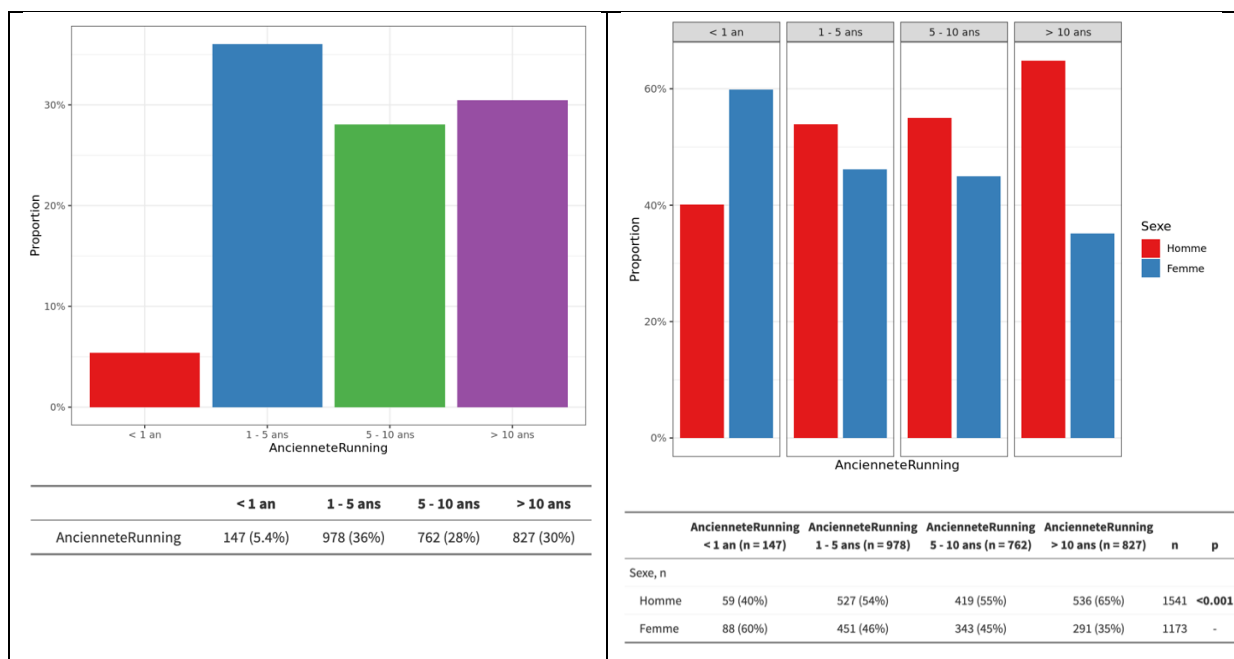


Figure 4 : Ancienneté de pratique de la course à pied avec répartition homme/femme

Concernant le volume d'entraînement hebdomadaire en course à pied, une majorité des coureurs cumulaient entre 20 à 30km (ou 2h à 3h) hebdomadaire (25,3%) et entre 30 à 40km (ou 3h à 4h) hebdomadaire (23,4%).

On constate également que les hommes couraient significativement plus que les femmes ( $p < 0.001$ ) (figure 5).

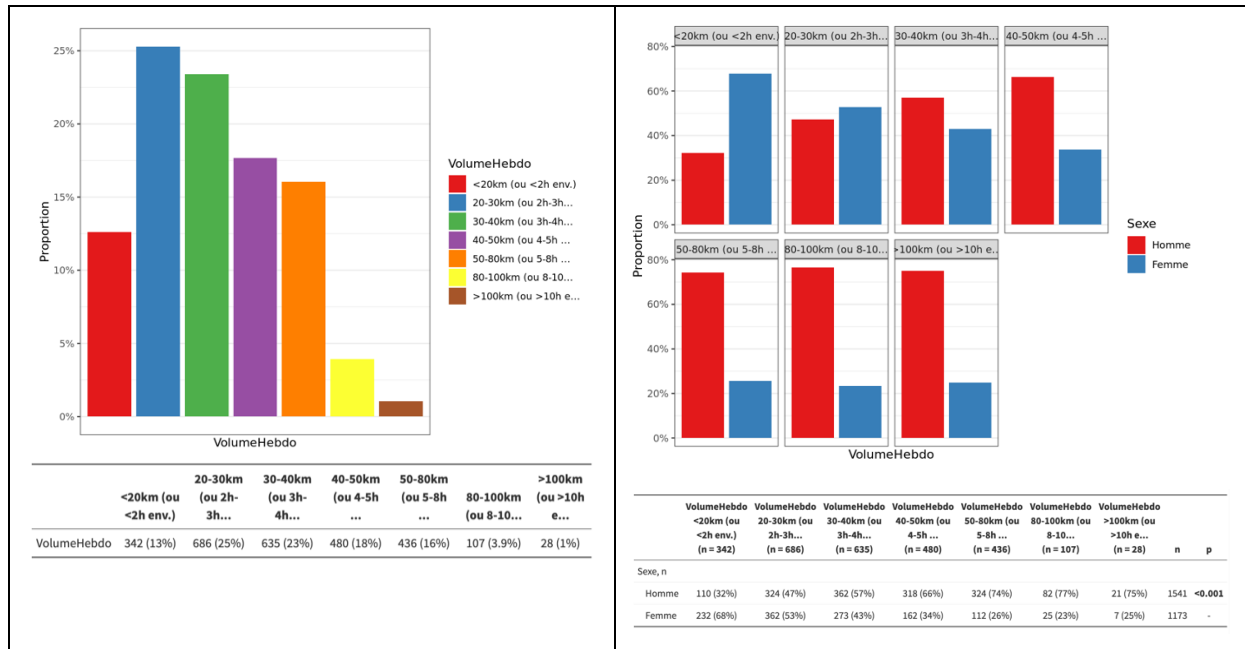
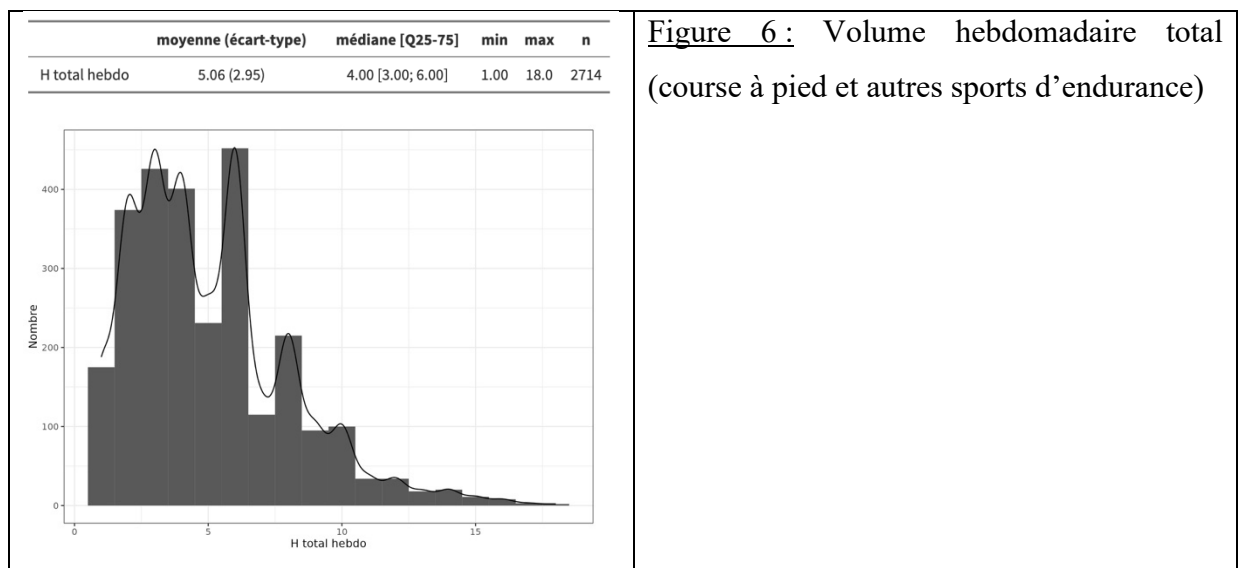


Figure 5 : Répartition hebdomadaire course à pied avec répartition homme/femme

51,1% des participant pratiquaient un autre sport d'endurance avec une moyenne hebdomadaire tout sport confondu de 5heures (SD=2,9), (figure 6).



34,4% pratiquaient la compétition sur un format 10km et moins, 48,7% pratiquent des semi-marathons, 47,3% pratiquent le marathon et le trail court (<50km), 12,5% pratiquent



l'ultra-trail (100-160km) ou le 100km route, alors que 6% ne participaient à aucune compétition.

Enfin, 5,8% des coureurs participaient à plus d'une compétition par mois, 14,3% environ à une tous les mois, 36% à une entre 1 et 3 mois et 37,4% participaient à moins d'une compétition tous les 3 mois. Les compétiteurs réguliers étaient significativement de sexe masculin ( $p < 0.001$ ) (figure 7).

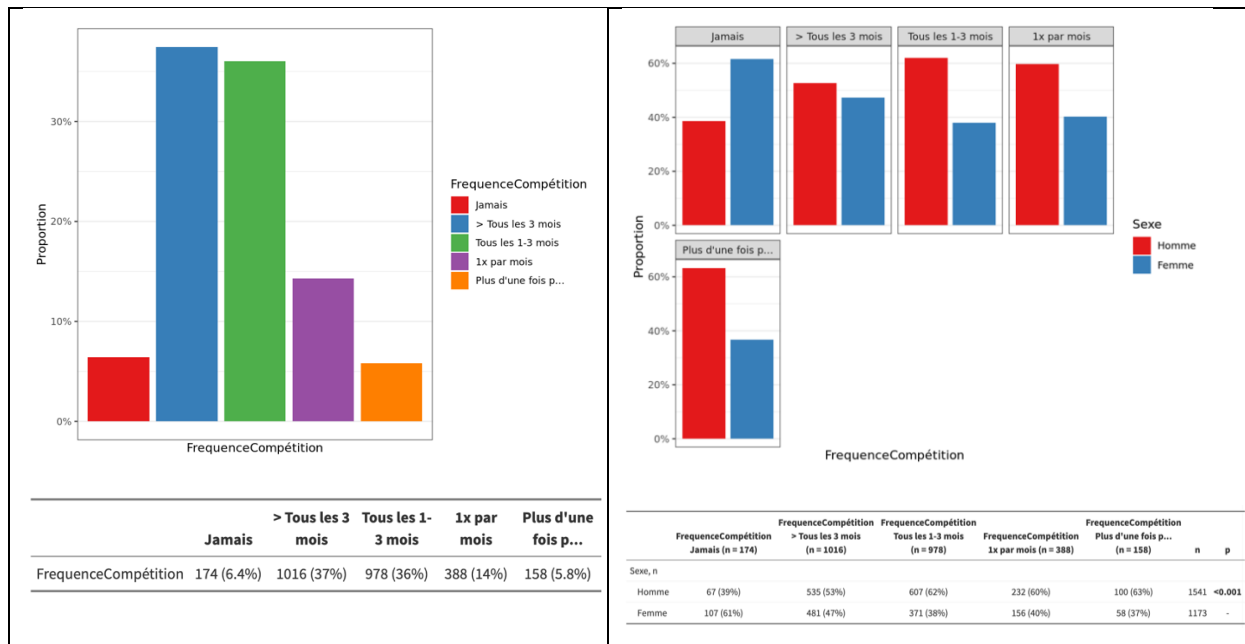
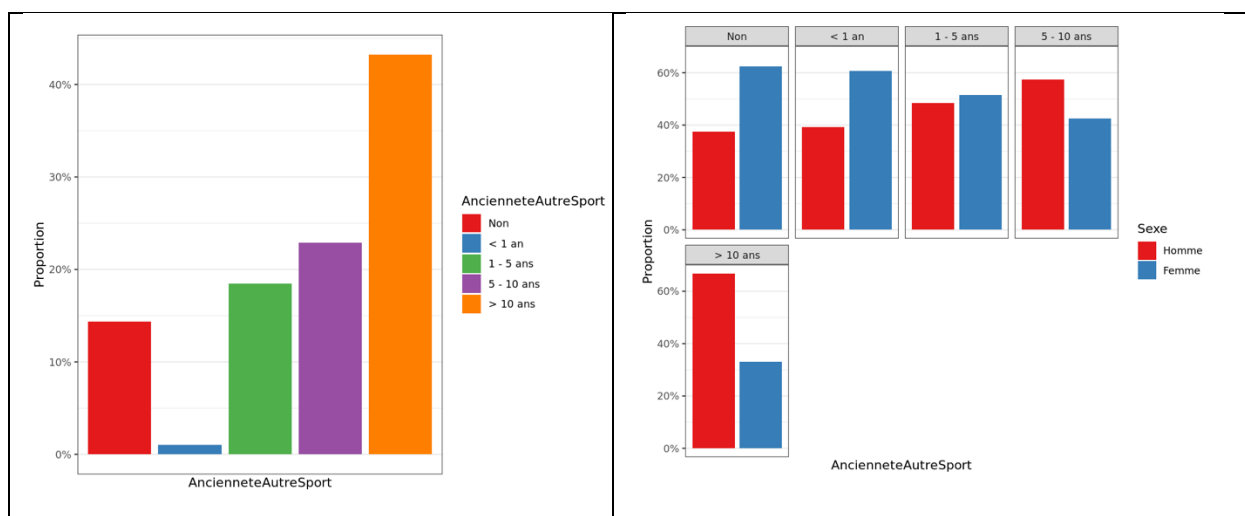


Figure 7 : Répartition de la fréquence des compétitions en fonction du sexe

Une grande majorité de coureur avait pratiqué un autre sport avant d'avoir débuté la course à pied (85,7%). 43% des participant pratiquait même un autre sport depuis plus de 10 ans, selon une proportion masculine statistiquement supérieure ( $p < 0.001$ ) (figure 8).



	Non	< 1 an	1 - 5 ans	5 - 10 ans	> 10 ans							
AncienneteAutreSport	389 (14%)	28 (1%)	502 (18%)	622 (23%)	1173 (43%)	AncienneteAutreSport Non (n = 389)	AncienneteAutreSport < 1 an (n = 28)	AncienneteAutreSport 1 - 5 ans (n = 502)	AncienneteAutreSport 5 - 10 ans (n = 622)	AncienneteAutreSport > 10 ans (n = 1173)	n	p
Sexe, n												
Homme	146 (38%)	11 (39%)	243 (48%)	357 (57%)	784 (67%)	1541	<0,001					
Femme	243 (62%)	17 (61%)	259 (52%)	265 (43%)	389 (33%)	1173	-					

Figure 8 : Ancienneté de pratique d'un autre sport avant de débiter la course à pied avec répartition homme/femme

65,5% des coureurs, majoritairement des hommes, enregistraient leur volume hebdomadaire d'entraînement dans le but d'être progressif et de ne pas se blesser.

Près d'un quart des participants (22,8%) faisait appel à un coach sportif afin de planifier leurs entraînements selon une différence entre les sexes [53,2% d'hommes vs 46,8% de femmes ; (p=0.043)].

### **SYMPTOMES**

Les symptômes les plus fréquemment rapportés, possiblement en lien avec un syndrome de surentraînement étaient les blessures de sur-sollicitation par contrainte (52,9%), les troubles de l'humeur (43,1%), les troubles du sommeil (38,1%), une baisse ou une stagnation du niveau de performance sportive (31,7%), une fatigue inhabituelle ou persistante (26%) ou encore l'existence de variations d'apport alimentaire (jeûne, TCA) (24,9%) (tableau 1).

Au cours d'une année sportive, 18,6% des coureurs ont rapporté avoir présenté une variation pondérale de +/- 5kg. 7,2% ont rapporté avoir été victime d'infections virales ORL régulièrement.

Les participants rapportaient en moyenne 2,5+-1,7 sur 9 symptômes possibles en lien avec un éventuel syndrome de surentraînement. Après exclusion des troubles menstruels, la moyenne des symptômes était de 2,4 +- 1,7 sur 8.

### **ALERTE**

Il a été défini une alerte chez les participants ayant cumulé au moins 4 symptômes mixtes sur les 8 du fait de l'orientation possible vers un syndrome de surentraînement. 24,8% des participants à l'étude pouvaient recevoir cette alerte, avec une proportion de femmes significativement plus importante (53,8%) (p<0,0001). Les coureurs susceptibles de recevoir une alerte n'avaient pas une moins bonne connaissance du RED-S (p= 0.13) et ne faisaient pas plus appel à un coach sportif (p=0.90) mais présentaient un volume d'entraînement inférieur. (Figure 9). On constate effectivement que la relation est inversée, avec 5,1 heures de

pratique hebdomadaire chez ceux ne recevant pas d'alerte contre 4,8 heures chez ceux recevant une alerte ( $p=0,04$ ).

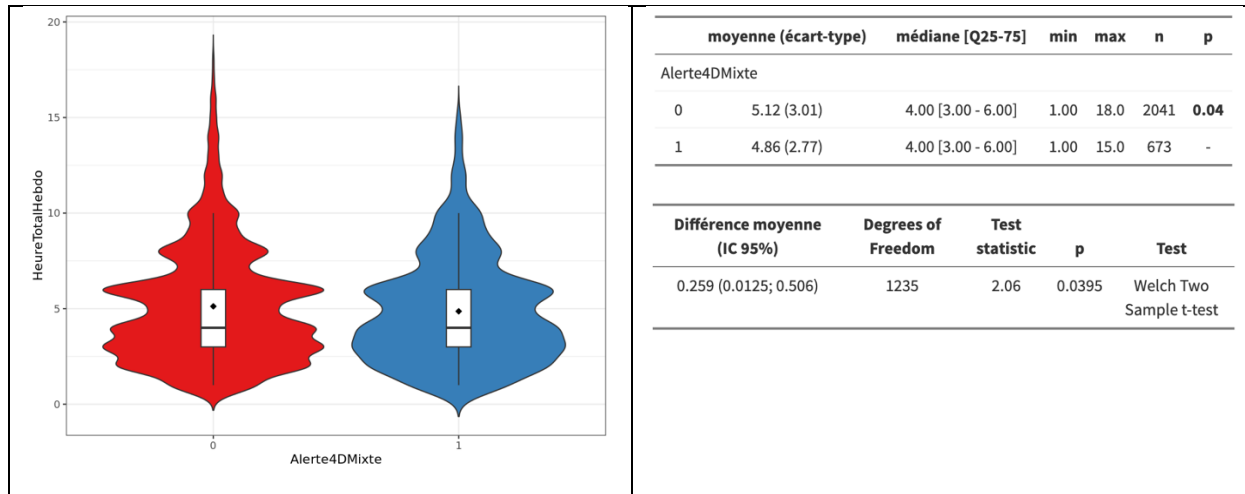


Figure 9 : Lien entre volume hebdomadaire d'entraînement (tout sport confondu) et alerte.

Aucun lien significatif n'était présent entre le fait de recevoir une alerte et la fréquence des compétitions ( $p=0,19$ ) (figure 10).

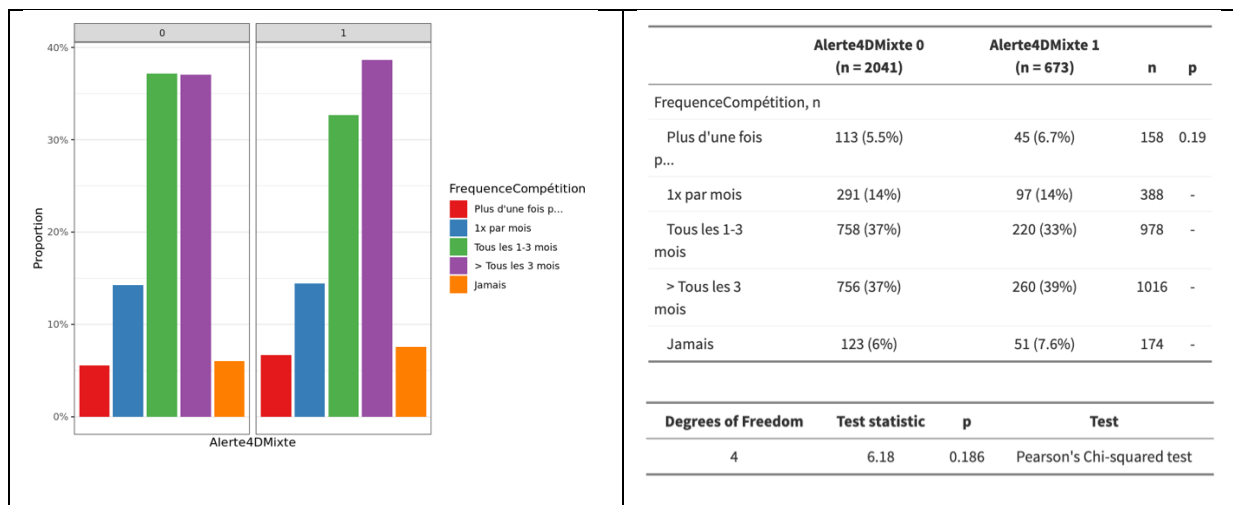


Figure 10 : Lien entre la fréquence d'une compétition et l'apparition d'une alerte.

### DIFFERENCE HOMME/FEMME

Les hommes rapportaient un kilométrage hebdomadaire et une ancienneté en course à pied plus importante que les femmes (figure 5), ainsi qu'une participation aux compétitions plus fréquentes (figure 7). Ils s'entraînaient en moyenne plus que les femmes avec une différence de cumul d'heure totale hebdomadaire (tout sport confondu) statistiquement significative (5,6 h/hebdomadaire chez les hommes contre 4,3 h/hebdomadaire chez les femmes,  $p < 0.001$ ) (figure 11).

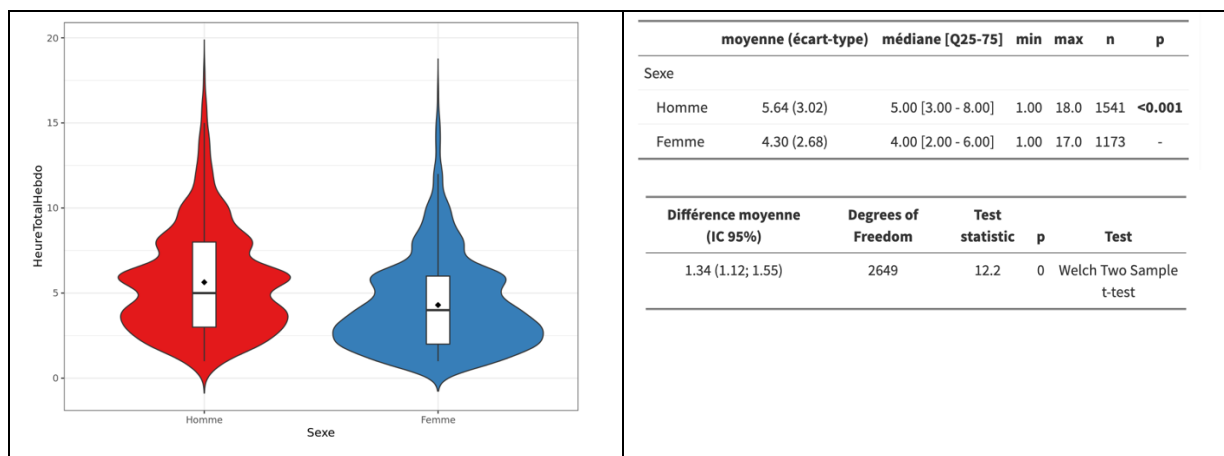


Figure 11 : Analyse univariée de la distribution du volume d'heure totale hebdomadaire (tout sport confondu) en fonction du sexe.

Concernant les symptômes, les blessures par sur-sollicitation étaient davantage représentée par les hommes ( $p=0,02$ ) de même que la variation annuelle du poids (+/- 5kg) ( $p=0,034$ ).

Les autres symptômes étaient significativement plus fréquents chez les femmes que chez les hommes (tableau 1), avec une part très importante de troubles alimentaires chez les femmes (61,5%), ( $p<0.0001$ ).

Pour contre, il n'y a pas de différence significative pour la fréquence des infections ORL.

Les femmes présentaient en moyennes 2,6/8 symptômes mixtes (sans la question sur les troubles menstruels), ce qui est statistiquement était supérieur aux hommes ( $p<0.0001$ ) (figure 12).

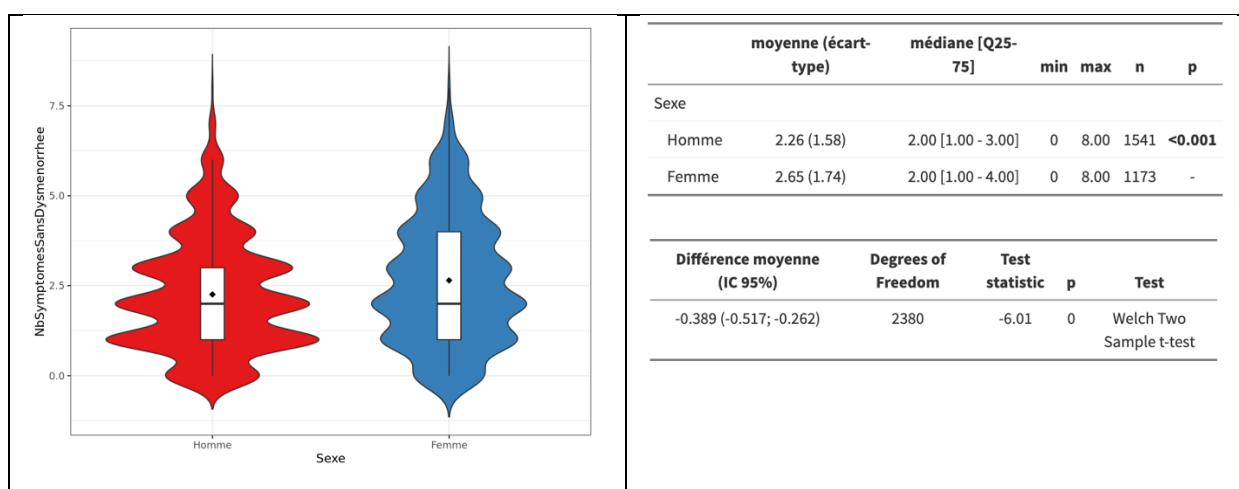


Figure 12 : Analyse univariée de la distribution du nombre de symptômes mixtes en fonction du sexe

Au-delà de 4 symptômes (alerte), l'incidence des symptômes était à nouveau plus grande chez les femmes que chez les hommes ( $p < 0.0001$ ) (tableau 2). Les femmes seraient donc plus à risques de développer un syndrome de RED-S que les hommes.

À la question exclusivement de la présence des troubles menstruels, 55,3% des coureuses rapportaient ne pas avoir d'irrégularité ou d'absence de règles. Elles étaient 24,1% à répondre en avoir, alors que 20,6% renseignaient ne pas être concernées.

Les femmes qui répondaient avoir présenté des troubles menstruels cumulaient 4,9 heures hebdomadaires d'entraînement contre 4 heures pour celles répondant négativement, ( $p < 0,0001$ ) (figure 13). Les troubles menstruels semblent donc corrélés à une augmentation du volume d'entraînement.

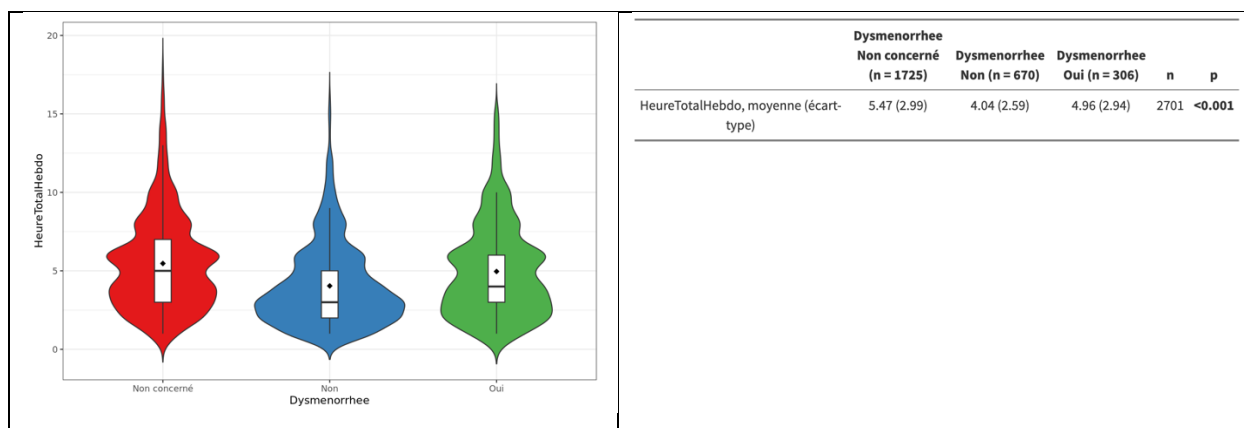


Figure 13 : Lien entre le cumul d'heure totale hebdomadaire (tout sport confondu) et la présence de troubles menstruels.

D'avantage de coureuses ayant des troubles menstruels recevaient une alerte (20% contre 8,6%,  $p < 0,0001$ ) (figure 14).

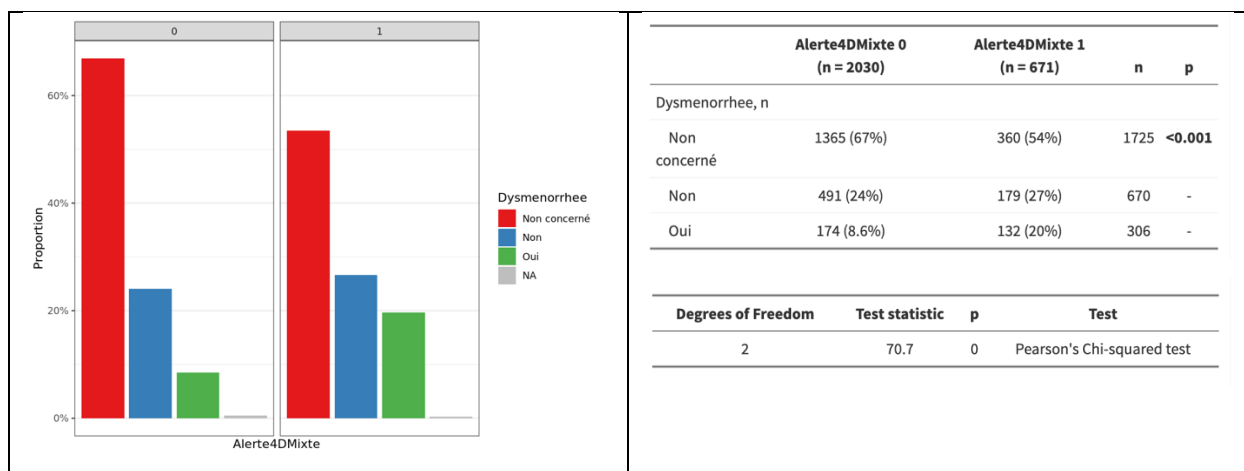


Figure 14 : Lien entre les troubles menstruels et l'apparition d'une alerte.

Un lien était également présent entre la dysménorrhée et les variations de poids (figure 15) ainsi qu'entre la dysménorrhée et les troubles alimentaires (figure 16).

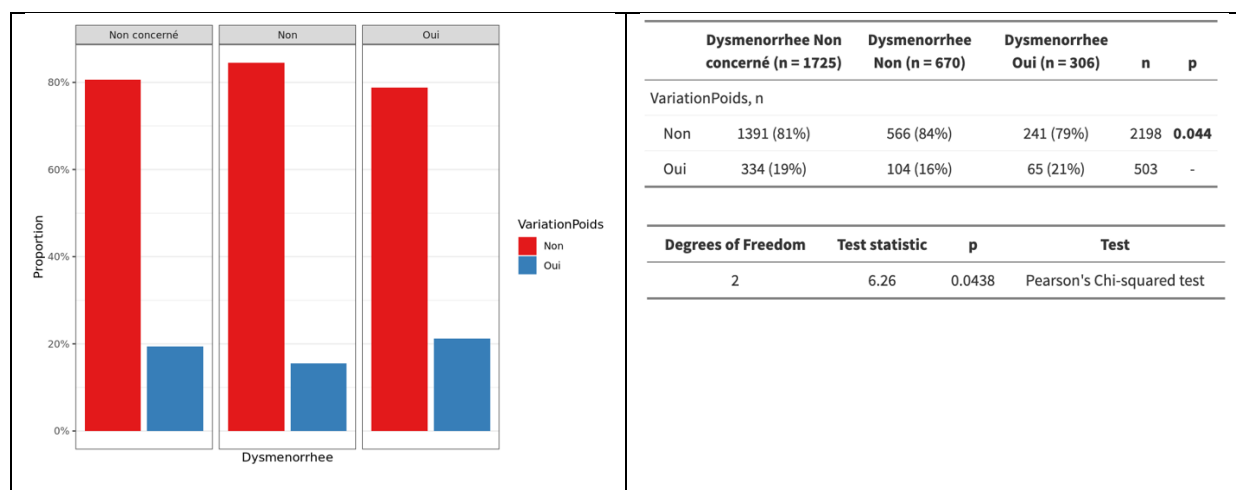


Figure 15 : Répartition des troubles menstruels en fonction des variations de poids (+/- 5kg).

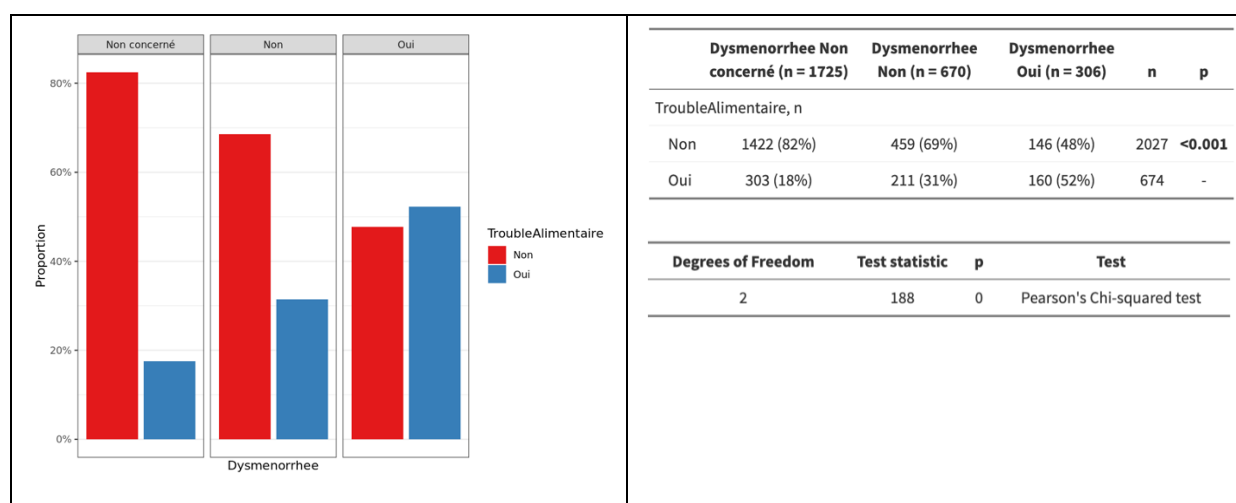


Figure 16 : Répartition des troubles menstruels en fonction des troubles alimentaires (variations d'apport alimentaire, jeûne, TCA, etc).

### **SYMPTOME CLEF : LES TROUBLES ALIMENTAIRES**

Les troubles alimentaires étant la pierre angulaire du RED-S, le recherche de liens a été réalisé entre les symptômes en lien avec le surentrainement. On constate qu'en présence de troubles alimentaires, les symptômes suivants sont plus fréquents :

- Les troubles de l'humeur OR=3,05 IC85% [2,55-3,66] (p<0.001) ;
- Les variations du poids (+/- 5kg) OR=2,89 IC85% [2,35-3,53] (p<0.001) ;
- Une fatigue inhabituelle OR=2,54 IC85% [2,11-3,06] (p<0.001) ;

- Les troubles du sommeil OR=1,81 IC85% [1,52-2,16] (p<0.001) ;
- Une baisse des performances sportives OR=1,71 IC85% [1,43-2,05] (p<0.001) ;
- Les blessures par sur-sollicitation OR=1,48 IC85% [1,24-1,76] (p<0,001).

## DISCUSSION

### **RESULTATS PRINCIPAUX**

71,2% des participants de l'étude ne connaissent pas le syndrome du RED-S sans qu'il y ait de différence homme/femme. Cependant, en fonction de l'ancienneté de la pratique de la course à pied, le syndrome du RED-S est davantage connu chez les participants (33% pour les coureurs depuis 5 à 10 ans contre 18% chez les <1 an.). Cette meilleure connaissance chez les anciens coureurs est rassurante sachant que ce syndrome s'installe après plusieurs années de pratique sportive. Mais, cette connaissance doit être améliorée. En effet, la prévention de ce syndrome passe en prévention primaire par un dépistage d'un éventuel déséquilibre énergétique.

### **PRINCIPAUX SYMPTOMES**

Le symptôme le plus retrouvé ont été la blessure de sur-sollicitation (52,9%) ayant conduit l'athlète à stopper la course à pied durant plus de 3 semaines (ex : fractures de fatigue, périostites, claquages, tendinopathies ...). Ce résultat dans notre étude est concordant avec le fait qu'un coureur sur deux est blessé dans l'année (26).

Les 3 premiers symptômes (blessures de sur-sollicitation, troubles l'humeur et troubles du sommeil) étaient les plus représentés dans les réponses mais représentent des symptômes plutôt aspécifiques du syndrome de RED-S, d'où la difficulté diagnostique du RED-S.

Le symptôme qui est le plus corrélé au syndrome de surentraînement est la baisse des résultats sportifs. On constate qu'il apparait en 4<sup>ème</sup> position des réponses (31,7% des cas).

Les symptômes alimentaires sont très présents, avec des variations d'apport alimentaire (jeûne, TCA) chez 24,9% des participants et une variation pondérale (+/- 5kg) chez 18,6%.

### **Fracture de stress**

Plusieurs études (27) (28) ont retrouvé un risque de fracture de fatigue plus élevé chez les femmes que chez les hommes, alors que ce constat ne ressort pas dans notre étude. En effet, le symptôme le plus retrouvé est la blessure de sur-sollicitation à 52,9% et les hommes ont davantage répondu positivement à cette question (p=0,0292). Mais les fractures de fatigues

sont regroupées avec d'autres blessures dans cette question (les tendinites, les périostites et les claquages).

La fracture de stress est pourtant souvent retrouvée dans le syndrome du RED-S sans pour autant en être spécifique. Il s'agit d'ailleurs souvent du symptôme sentinelle qui amène le praticien ou l'athlète à se questionner sur l'hypothèse du surentraînement. En effet, la physiopathologie est expliquée en grande partie par la fragilité osseuse induite par le déficit hormonal en œstrogène.

Mais cette pathologie peut aussi se développer sans aucun lien avec une carence hormonale. Par exemple, si l'athlète ne respecte pas assez de temps récupération entre les séances d'entraînements, il peut y avoir une surcharge mécanique sur ses tissus osseux. Cette surcharge va alors lésée l'os et le fracturer par microtraumatisme répété, en dehors de tout traumatisme brutal ou carence hormonale.

### Troubles menstruels

Un quart des coureuses (24,1%) ont rapporté avoir des troubles menstruelles (irrégularités ou absence) en association avec 4,9 heures hebdomadaires d'entraînement contre 4 heures pour celles qui avaient répondu négativement à la question. Il y a donc une corrélation entre l'augmentation du volume d'entraînement et l'apparition de troubles menstruels ( $p < 0,001$ ).

Ces troubles menstruels vont être également davantage présents en cas de troubles alimentaires ( $p < 0,001$ ) et des variations de poids ( $p = 0,044$ ). À travers ces résultats on retrouve bien les éléments initiaux de la triade de l'athlète féminine, pierre angulaire du syndrome du RED-S.

Par contre, une part non négligeable des femmes (20,6%) ont répondu ne pas être concernés à la question sur les troubles menstruels. Comme le questionnaire est ouvert uniquement aux participants majeurs, on peut penser qu'il s'agit alors des femmes ménopausées ou sous contraceptif hormonal avec menstruations bloquées.

Il s'agit effectivement d'un cas particulier des pilules oestrogéno-progéstatives (POP) qui ne permettront pas aux athlètes féminines de contrôler leurs menstruations et ainsi d'avoir une vision sur les premiers signes éventuels de syndrome de RED-S. Par contre la prise de POP chez les athlètes surentraînés a comme bénéfice secondaire d'avoir un dosage hormonal constant en œstrogène et peut ainsi limiter les complications liées à une éventuelle carence (23).



## Troubles alimentaires

À la question sur les troubles alimentaires, la proposition est large et certaines variations d'apports peuvent ne pas avoir un impact négatif sur la pratique sportive. En effet, plusieurs études ont montré de réels bénéfices du jeûne intermittent sur la santé (29). Ces bénéfices sont rapportés pour le système cardiovasculaire (réduction de la pression artérielle, amélioration du profil lipidique LDL/HDL/TG) et métabolique (baisse de la sécrétion d'insuline et amélioration globale de la glycémie) mais également sur la performance physique et intellectuelle (30).

On peut également citer le régime « cétogène » qui est largement connu dans le milieu des sports d'endurance. Ce régime vise à limiter drastiquement l'apport alimentaire quotidien de glucides et permet à l'athlète de réaliser, sur le long terme, un switch métabolique, avec une meilleure utilisation des lipides et une épargne glycogénique à l'effort (31) (32).

## Différence homme/femme

Parmi les participants de cette étude, on constate une différence significative homme/femme sur leur pratique sportive. Les hommes cumulent un plus haut volume kilométrique de course à pied hebdomadaire, un plus important volume hebdomadaire de sport d'endurance, une fréquence de participation aux compétitions supérieure, ainsi qu'une pratique de la course à pied plus ancienne. Pourtant, les femmes ont cumulé davantage de symptômes en lien avec le surentraînement que les hommes (2,6 symptômes contre 2,2).

24,9% des participants ont répondu avoir des troubles alimentaires et 61,5% étaient des femmes. Cette part féminine importante des troubles alimentaires doit être soulignée chez les athlètes en prévention du risque du syndrome de RED-S. En effet, la pratique de régime est très à risque de carence alimentaire et donc de déficit énergétique à l'effort. Pourtant, parmi les participants de cette étude, on constate que c'est davantage les athlètes masculins (61%) qui ont rapporté une importante variation pondérale (+ ou - 5kg) au cours d'une saison sportive. Ce résultat peut être expliqué premièrement par une physiologie du RED-S chez l'homme différent et ne dépendant pas, comme chez la femme, de l'interrupteur hormonal qui est la leptine. En effet, cette hormone étant stockée dans les tissus adipeux, en cas de carence chez la femme, il y a une interruption de l'axe hypothalamo-hypophysaire. En cas de RED-S, chez l'homme, on constate également une interruption de cet axe mais qui n'est pas due à

l'absence de cette leptine. Les variations pondérales auraient donc peut-être moins de conséquences chez l'homme que chez la femme pour entraîner un syndrome de RED-S.

Deuxièmement, d'un point de vue sportif, il est fréquent qu'à l'approche d'une compétition, certains athlètes pratiquent une période dite « d'affutage », où ils vont baisser leur volume d'entraînement, mais parfois également rechercher à perdre du poids. Cette démarche vise à obtenir un meilleur ratio poids/puissance et donc d'améliorer temporairement sa vitesse en compétition (33) (34). Ce comportement serait peut-être davantage pratiqué par les hommes que par les femmes, d'autant plus que les athlètes féminines ont déjà un IMC plus faible comme c'est le cas dans l'étude actuelle (21,7 kg/m<sup>2</sup> contre 23,1 kg/m<sup>2</sup> chez les hommes) et sont donc moins enclins à une telle variation pondérale.

Parmi les 65,5% des utilisateurs qui enregistrent leur volume d'entraînement hebdomadaire dans le but d'être progressif et de ne pas se blesser, elles sont seulement 39,6% de femmes à le faire. Pourtant cette action pourrait peut-être être bénéfique pour prévenir le syndrome du surentraînement et le risque de blessure, en quantifiant son stress physiologique. En effet, les études suggèrent d'augmenter le volume d'entraînement très graduellement, et sans données probantes, de ne pas dépasser 10% d'une semaine à l'autre (35). Le but est de laisser le temps au corps de réaliser des adaptations structurelles (tendineuses, osseuses, musculaires, ...) mais également physiologiques. De ce fait, d'une semaine à l'autre, avec la pratique physique le corps aura le temps de se renforcer et les impacts liés à la pratique de la course à pied n'induiront pas de blessures. Les femmes paraissent moins enclines à vérifier leur volume d'entraînement, alors qu'elles sont plus à risque de RED-S, peut-être pour une raison sociétale.

Plusieurs hypothèses pourraient expliquer cette différence. Premièrement, concernant les applications smartphone de course à pied, comme Strava ® ou Garmin Connect ®, elles apportent une dimension sociale, avec comparaison au sein d'une communauté de sportifs, qui intéresse peut-être davantage les hommes que les femmes. Deuxièmement, concernant le matériel et l'équipement de sport, il existe une différence de consommation parmi les sexes, les femmes attachent peut-être moins d'importance à l'achat d'une montre de sport connectée.

### **Alerte**

Au-delà de 4 des 8 symptômes mixtes, définissants dans l'étude une alerte, l'incidence des symptômes a été plus fréquente chez les femmes (53,8%) que chez les hommes. Ce constat va

dans le sens des précédentes études, à savoir que les femmes sont plus à risques de développer un syndrome de RED-S que les hommes (4) (36).

D'avantage de coureuses recevant une alerte ont rapporté une dysménorrhée/aménorrhée (20% contre 8,6%,  $p < 0,0001$ ). Ce constat confirme que les troubles menstruels ne doivent pas être banalisés auprès des athlètes féminines et ont des conséquences globales sur la santé. Ces troubles hormonaux étant extrêmement répandu chez les athlètes féminines, ils doivent être considérés comme des symptômes sentinelles afin de dépister et prendre en charge un éventuel déficit énergétique.

Par contre, il est intéressant de constater que les sportifs ne recevant pas d'alerte cumulent davantage de volumes hebdomadaires en sport endurance (5,1 heures contre 4,8 heures). À la différence d'une machine, le corps humain est un modèle biologique qui s'adapte et se renforce face à un haut volume d'entraînement qui pourrait peut-être être protecteur. Ce constat va dans le sens que le syndrome du RED-S n'est pas corrélé à un excès d'exercice physique mais bien que d'autres paramètres entre en jeu (alimentaires/hormonaux, ...). De plus, nous avons mis en évidence que davantage de coureurs débutants (entre 1 et 5 ans de pratique) reçoivent une alerte (36%), contre 31,5% chez les >10 ans et 28,7% chez les 5-10 ans. Cela confirme, qu'il existe un risque plus élevé de RED-S chez des coureurs avec une physiologie moins entraînée aux contraintes induites par la course à pied. L'ancienneté dans la pratique pourrait à l'inverse représenter un facteur protecteur du fait des adaptations physiologiques induite par des années d'entraînement.

Parmi les utilisateurs recevant une alerte, 39,2% n'enregistrent pas leur volume hebdomadaire (contre 34,6% parmi tous les répondants). On peut donc supposer qu'enregistrer son volume hebdomadaire pourrait avoir un effet protecteur face au surentraînement. En effet, quantifier son stress physiologique en augmentant graduellement son volume d'entraînement hebdomadaire est une bonne méthode permettant de prévenir les blessures et de favoriser les adaptations physiologiques à la course à pied comme décrit plus haut (35)(37).

## CONCLUSION

Le syndrome du surentraînement est peu connu parmi les pratiquants de la course à pied (28,8%) et plus fréquent chez les coureurs moins aguerris. Cette limite physiologique, touche davantage les athlètes féminines dans notre étude et met l'accent sur des apports nutritionnels qui doivent être en adéquation avec les dépenses sportives d'exercice.

Malgré un entraînement hebdomadaire moins volumineux, les femmes ont rapporté davantage de symptômes en lien avec un éventuel syndrome de surentraînement avec également davantage de troubles alimentaires et donc plus d'exposition à une vulnérabilité au déficit énergétique et au syndrome du RED-S. À l'heure d'aujourd'hui où l'image des athlètes semble tout aussi importante que ses performances sportives, des actions de prévention sur la nutrition deviennent donc primordiales.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Cheng AJ, Jude B, Lanner JT. Intramuscular mechanisms of overtraining. *Redox Biol.* août 2020;35:101480.
2. Vandewalle H. Au-delà du principe de surcompensation. *Cah INSEP.* 2000;27(1):17-28.
3. 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.
4. Mountjoy M, Sundgot-Borgen JK, Burke LM, Ackerman KE, Blauwet C, Constantini N, et al. IOC consensus statement on relative energy deficiency in sport (RED-S): 2018 update. *Br J Sports Med.* juin 2018;52(11):687-97.
5. Sutton KM, Cheney SM, Fierro EA, Casey EK. The Female Athlete Triad/Relative Energy Deficiency in Sports. In: *The Female Athlete* [Internet]. Elsevier; 2022 [cité 12 janv 2023]. p. 295-309. Disponible sur: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780323759854000301>
6. Hackney AC. Hypogonadism in Exercising Males: Dysfunction or Adaptive-Regulatory Adjustment? *Front Endocrinol.* 31 janv 2020;11:11.
7. Wiebe DJ, Storey EP, Orchinik JE, Grady MF, Leddy JJ, Willer BS, et al. The Male Athlete Triad—A Consensus Statement From the Female and Male Athlete Triad Coalition Part 1: Definition and Scientific Basis. *Clin J Sport Med.* juill 2022;32(4):345-53.
8. Dave SC, Fisher M. Relative energy deficiency in sport (RED – S). *Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care.* août 2022;52(8):101242.
9. 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.
10. Łuszczki E, Jagielski P, Bartosiewicz A, Kuchciak M, Dereń K, Stolarczyk A, et al. The LEAF questionnaire is a good screening tool for the identification of the Female Athlete Triad/Relative Energy Deficiency in Sport among young football players. *PeerJ.* 3 sept 2021;9:e12118.
11. Logue DM, Madigan SM, Melin A, Delahunt E, Heinen M, Donnell SJM, et al. Low Energy Availability in Athletes 2020: An Updated Narrative Review of Prevalence, Risk, Within-Day Energy Balance, Knowledge, and Impact on Sports Performance. *Nutrients.* 20 mars 2020;12(3):835.

12. Charlton BT, Forsyth S, Clarke DC. Low Energy Availability and Relative Energy Deficiency in Sport: What Coaches Should Know. *Int J Sports Sci Coach.* avr 2022;17(2):445-60.
13. Smith AB, Gay JL, Arent SM, Sarzynski MA, Emerson DM, Torres-McGehee TM. Examination of the Prevalence of Female Athlete Triad Components among Competitive Cheerleaders. *Int J Environ Res Public Health.* 26 janv 2022;19(3):1375.
14. Rogers MA, Appaneal RN, Hughes D, Vlahovich N, Waddington G, Burke LM, et al. Prevalence of impaired physiological function consistent with Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S): an Australian elite and pre-elite cohort. *Br J Sports Med.* janv 2021;55(1):38-45.
15. Prevention, Diagnosis, and Treatment of the Overtraining Syndrome: Joint Consensus Statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Med Sci Sports Exerc.* janv 2013;45(1):186-205.
16. Torstveit MK, Sundgot-Borgen J. Participation in leanness sports but not training volume is associated with menstrual dysfunction: a national survey of 1276 elite athletes and controls. *Br J Sports Med.* mars 2005;39(3):141-7.
17. Meczekalski B, Katulski K, Czyzyk A, Podfigurna-Stopa A, Maciejewska-Jeske M. Functional hypothalamic amenorrhea and its influence on women's health. *J Endocrinol Invest.* nov 2014;37(11):1049-56.
18. Elliott-Sale KJ, Tenforde AS, Parziale AL, Holtzman B, Ackerman KE. Endocrine Effects of Relative Energy Deficiency in Sport. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 1 juill 2018;28(4):335-49.
19. Shufelt C, Torbati T, Dutra E. Hypothalamic Amenorrhea and the Long-Term Health Consequences. *Semin Reprod Med.* mai 2017;35(03):256-62.
20. Welt CK, Chan JL, Bullen J, Murphy R, Smith P, DePaoli AM, et al. Recombinant Human Leptin in Women with Hypothalamic Amenorrhea. *N Engl J Med.* 2 sept 2004;351(10):987-97.
21. Areta JL, Taylor HL, Koehler K. Low energy availability: history, definition and evidence of its endocrine, metabolic and physiological effects in prospective studies in females and males. *Eur J Appl Physiol.* janv 2021;121(1):1-21.
22. Ihle R, Loucks AB. Dose-Response Relationships Between Energy Availability and Bone Turnover in Young Exercising Women. *J Bone Miner Res.* août 2004;19(8):1231-40.
23. Grosman-Rimon L, Wright E, Freedman D, Kachel E, Hui S, Epstein I, et al. Can improvement in hormonal and energy balance reverse cardiovascular risk factors in athletes

with amenorrhea? *Am J Physiol-Heart Circ Physiol.* 1 sept 2019;317(3):H487-95.

24. O’Leary TJ, Wardle SL, Greeves JP. Energy Deficiency in Soldiers: The Risk of the Athlete Triad and Relative Energy Deficiency in Sport Syndromes in the Military. *Front Nutr.* 25 août 2020;7:142.

25. Sim M, Garvican-Lewis LA, Cox GR, Govus A, McKay AKA, Stellingwerff T, et al. Iron considerations for the athlete: a narrative review. *Eur J Appl Physiol.* juill 2019;119(7):1463-78.

26. Van Gent RN, Siem D, Van Middelkoop M, Van Os AG, Bierma-Zeinstra SMA, Koes BW, et al. Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: a systematic review \* COMMENTARY. *Br J Sports Med.* 8 mars 2007;41(8):469-80.

27. Brukner P, Bennell K. Stress Fractures in Female Athletes: Diagnosis, Management and Rehabilitation. *Sports Med.* déc 1997;24(6):419-29.

28. Zadpoor AA, Nikooyan AA. The relationship between lower-extremity stress fractures and the ground reaction force: A systematic review. *Clin Biomech.* janv 2011;26(1):23-8.

29. Moon S, Kang J, Kim SH, Chung HS, Kim YJ, Yu JM, et al. Beneficial Effects of Time-Restricted Eating on Metabolic Diseases: A Systemic Review and Meta-Analysis. *Nutrients.* 29 avr 2020;12(5):1267.

30. Trabelsi K, Ammar A, Boujelbane MA, Puce L, Garbarino S, Scoditti E, et al. Religious fasting and its impacts on individual, public, and planetary health: Fasting as a “religious health asset” for a healthier, more equitable, and sustainable society. *Front Nutr.* 24 nov 2022;9:1036496.

31. Phinney SD, Bistrian BR, Evans WJ, Gervino E, Blackburn GL. The human metabolic response to chronic ketosis without caloric restriction: Preservation of submaximal exercise capability with reduced carbohydrate oxidation. *Metabolism.* août 1983;32(8):769-76.

32. Chang CK, Borer K, Lin PJ. Low-Carbohydrate-High-Fat Diet: Can it Help Exercise Performance? *J Hum Kinet.* 25 févr 2017;56(1):81-92.

33. Thomas L, Busso T. A Theoretical Study of Taper Characteristics to Optimize Performance. *Med Sci Sports Exerc.* sept 2005;37(9):1615-21.

34. Mujika I, Goya A, Padilla S, Grijalba A, Gorostiaga E, Ibañez J. Physiological responses to a 6-d taper in middle-distance runners: influence of training intensity and volume. *Med Sci Sports Exerc.* févr 2000;32(2):511.

35. Fredette A, Roy JS, Perreault K, Dupuis F, Napier C, Esculier JF. The Association Between Running Injuries and Training Parameters: A Systematic Review. *J Athl Train.* 1

juill 2022;57(7):650-71.

36. Loucks AB. Low Energy Availability in the Marathon and Other Endurance Sports: Sports Med. 2007;37(4):348-52.

37. La Clinique Du Coureur [Internet]. [cité 13 juill 2023]. Quantification du stress mécanique (QSM) - Apprendre plus. Disponible sur: <https://lacliniqueducoureur.com/quantification-du-stress-mecanique/>



## TABLE

Table 1 : Incidence des principaux symptômes en lien avec le syndrome RED-S

	Total	Homme	Femme	Odds Ratio IC95%	p-value (Chi-2)
Avez-vous déjà présenté une blessure de sur-utilisation vous ayant conduit à stopper la course à pied durant > 3 semaines (ex : fractures de fatigue, périostites, claquages, tendinopathies ...)	1437/2714 (52,9%)	844/1437 (58,7%)	593/1437 (41,3%)	1,18 [1,02- 1,38]	0,02
Présentez-vous des troubles de l'humeur et/ou des variations du moral	1170/2714 (43,1%)	614/1170 (52,5%)	556/1170 (47,5%)	0,74 [0,63- 0,86]	<0.001
Avez-vous un sommeil que vous considérez médiocre ou non récupérateur	1035/2714 (38,1%)	562/1035 (54,3%)	473/1035 (45,7%)	0,85 [0,73- 0,99]	0,04
Malgré votre entraînement estimez-vous que votre niveau de performance sportive stagne ou a diminué (ex : moins bons résultats en compétition, plus de difficulté à récupérer des séances intenses ...)	860/2714 (31,7%)	438/860 (50,9%)	422/860 (49,1%)	0,71 [0,60- 0,83]	<0.001
Avez-vous déjà présenté une fatigue inhabituelle ayant duré plus de 4 semaines	706/2714 (26%)	351/706 (49,7%)	355/706 (50,3%)	0,68 [0,57- 0,81]	<0.001
Au niveau alimentaire, observez-vous des variations	675/2714 (24,9%)	260/675 (38,5%)	415/675 (61,5%)	0,37 [0,31-	<0.001

d'apport (exemple : jeûne, baisse d'appétit, TCA : Trouble Conduite Alimentaire)				0,44]	
Au cours d'une année sportive, votre poids varie-t-il de plus de 5kg (en + ou -)	505/2714 (18,6%)	308/505 (61%)	197/505 (39%)	1,24 [1,02- 1,51]	0,034
Présentez-vous des infections virales ORL régulièrement (exemple : plus de 6 rhumes/angines par an)	196/2714 (7,2%)	102/196 (52%)	94/196 (48%)	0,81 [0,61- 1,09]	NS

Table 2 Nombres de symptômes

Nombres de symptômes (excepté aménorrhée) / 8	Total	Homme	Femme	p-value (Chi-2)
≥ 1 symptôme	2423/2714 (89,3%)	1367/2423 (56,4%)	1056/2423 (43,6%)	0.27
≥ 2 symptômes	1797/2714 (66,2%)	970/1797 (54%)	827/1797 (46%)	<0.001
≥ 3 symptômes	1177/2714 (43,4%)	609/1177 (51,7%)	568/1177 (48,3%)	<0.001
≥ 4 symptômes	673/2714 (24,8%)	311/673 (46,2%)	362/673 (53,8%)	<0.001
≥ 5 symptômes	341/2714 (12,6%)	151/341 (44,2%)	191/341 (55,8%)	<0.001
≥ 6 symptômes	136/2714 (5%)	55/136 (40,4%)	81/136 (59,6%)	<0.001
≥ 7 symptômes	31/2714 (1,1%)	14/31 (45,2%)	17/31 (54,8%)	0.19
≥ 8 symptômes	5/2714 (0,2%)	2/5 (40%)	3/5 (60%)	0.66

## ANNEXES

Annexe 1 : questionnaire SFMES basé sur 54 questions (*Un score  $\geq$  à 20 doit alerter sur un possible syndrome du surentraînement. Un score  $\geq$  à 27 est signe d'un surentraînement à conforter aux données cliniques*).

1	Mon niveau de performance sportive/mon état de forme a diminué	Oui	Non
2	Je ne soutiens pas autant mon attention	Oui	Non
3	Mes proches estiment que mon comportement a changé	Oui	Non
4	J'ai une sensation de poids sur la poitrine	Oui	Non
5	J'ai une sensation de palpitation	Oui	Non
6	J'ai une sensation de gorge serrée	Oui	Non
7	J'ai moins d'appétit qu'avant	Oui	Non
8	Je mange davantage	Oui	Non
9	Je dors moins bien	Oui	Non
10	Je somnole et baille dans la journée	Oui	Non
11	Les séances me paraissent trop rapprochées	Oui	Non
12	Mon désir sexuel a diminué	Oui	Non
13	Je fais des contre-performances	Oui	Non
14	Je m'enrhume fréquemment	Oui	Non
15	J'ai des problèmes de mémoire	Oui	Non
16	Je grossis	Oui	Non
17	Je me sens souvent fatigué	Oui	Non
18	Je me sens en état d'infériorité	Oui	Non
19	J'ai des crampes, douleurs musculaires fréquentes	Oui	Non
20	J'ai plus souvent mal à la tête	Oui	Non
21	Je manque d'entrain	Oui	Non
22	J'ai parfois des malaises ou des étourdissements	Oui	Non
23	Je me confie moins facilement	Oui	Non
24	Je suis souvent patraque	Oui	Non
25	J'ai plus souvent mal à la gorge	Oui	Non
26	Je me sens nerveux, tendu, inquiet	Oui	Non
27	Je supporte moins bien mon entraînement	Oui	Non
28	Mon cœur bat plus vite qu'avant au repos	Oui	Non
29	Mon cœur bat plus vite qu'avant à l'effort	Oui	Non
30	Je suis souvent mal fichu	Oui	Non
31	Je me fatigue plus facilement	Oui	Non
32	J'ai souvent des troubles digestifs	Oui	Non
33	J'ai envie de rester au lit	Oui	Non
34	J'ai moins confiance en moi	Oui	Non
35	Je me blesse facilement	Oui	Non
36	J'ai plus de mal à rassembler mes idées	Oui	Non
37	J'ai plus de mal à me concentrer dans mon activité sportive	Oui	Non
38	Mes gestes sportifs sont moins précis, moins habiles	Oui	Non
39	J'ai perdu de la force, du punch	Oui	Non
40	J'ai l'impression de n'avoir personne de proche à qui parler	Oui	Non
41	Je dors plus	Oui	Non
42	Je tousse plus souvent	Oui	Non
43	Je prends moins de plaisir à mon activité sportive	Oui	Non
44	Je prends moins de plaisir à mes loisirs	Oui	Non
45	Je m'irrite plus facilement	Oui	Non
46	J'ai une baisse de rendement dans mon activité scolaire ou professionnelle	Oui	Non
47	Mon entourage trouve que je deviens moins agréable à vivre	Oui	Non
48	Les séances sportives me paraissent trop difficiles	Oui	Non
49	C'est ma faute si je réussis moins bien	Oui	Non
50	J'ai les jambes lourdes	Oui	Non
51	J'égare plus facilement les objets (clefs, etc.)	Oui	Non
52	Je suis pessimiste, j'ai des idées noires	Oui	Non
53	Je maigris	Oui	Non
54	Je me sens moins motivé, j'ai moins de volonté, moins de ténacité	Oui	Non