

Année universitaire 2024-2025

Master 1^{ère} année

Master STAPS mention : *Entraînement et Optimisation de la Performance Sportive*

Parcours : *Préparation du sportif : aspects physiques, nutritionnels et mentaux*

MEMOIRE

TITRE : Les différentes phases du cycle menstruel, influencent-elles la disponibilité énergétique chez des footballeuses professionnelles ?

Par : Yann Sagaert

Sous la direction de : Jérémy Coquart

Soumis à la Faculté des Sciences du Sport et
de l'Éducation Physique le : 16/06/2025

« Le département des Sciences du Sport et de l'Education Physique de l'UFR3S n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les mémoires; celles-ci sont propres à leurs auteurs. »

Remerciements

Ce mémoire a représenté un véritable investissement personnel. Il a été une étape importante de mon parcours, exigeant à bien des égards, mais profondément formateur. Je ressors de cette expérience avec une plus grande maturité professionnelle, et une volonté renforcée de contribuer à la recherche scientifique dans le futur. Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers l'ensemble des personnes ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail :

Pr Jérémie Coquart, mon directeur de mémoire, qui m'a apporté son expérience en recherche scientifique, et a suivi le déroulé de mes travaux. Ses retours, concernant mon dossier, m'ont permis de produire un travail plus rigoureux et précis, contribuant ainsi à un travail de plus grande qualité.

Alexandre Maître, diététicien au Racing Club de Lens, qui a pu suivre le déroulé de ce travail tout en s'assurant que mon protocole se déroulait convenablement. Je le remercie pour sa disponibilité, aussi bien pour ce mémoire que pour l'ensemble de l'année effectuée au sein du club.

Marius Gosset, doctorant et préparateur physique au sein du Racing Club de Lens, dont les longs échanges autour de la recherche scientifique ont contribué à ma progression. Je le remercie également pour sa disponibilité, et ses conseils pour le bon déroulement de mon protocole.

Benoît Delaval et Tom Douchet, respectivement responsable performance et responsable recherche du Racing Club de Lens. Leur expérience de la recherche appliquée au terrain m'a permis d'affiner mon protocole, afin de le commencer de la meilleure des manières.

Sarah M'Barek, coach de l'équipe féminine, pour m'avoir permis de mettre en place le protocole avec les joueuses. Mahé Benne et Ophélie Bolzon, pour m'avoir fourni des données essentielles au bon déroulement du mémoire, ainsi que pour leurs connaissances spécifiques à l'athlète féminin.

Enfin, je tiens particulièrement à remercier l'ensemble des joueuses ayant participé à mon étude. Je reconnais que le protocole mis en place a demandé une certaine implication de leur part. Cette étude n'aurait jamais été possible sans leur investissement, et leur rigueur. Les joueuses comprennent qu'il est essentiel d'effectuer des recherches spécifiques à leurs caractéristiques pour faire évoluer le football féminin. Je les remercie chaleureusement pour leur aide précieuse.

Sommaire

Introduction	1
1) Revue de littérature	2
1.1) Le cycle menstruel	2
1.2) L'énergie disponible	3
1.3) Mesures de composition corporelle	5
1.4) Dépenses énergétique	6
1.5) Lien entre apports énergétiques et les différentes phases du cycle menstruel	6
1.6) Lien entre énergie disponible et physiologie féminine	7
2) Milieu professionnel	8
3) Problématique et objectif de l'étude	9
3.1) Justification du sujet	9
4) Hypothèses	9
5) Protocole expérimentale	10
5.1) Public de l'étude :	10
5.2) Critères d'exclusion de l'étude :	10
5.3) Outils pour l'étude	11
5.3.2) Evaluation de l'apport énergétique	11
5.3.3) Mesures des dépenses énergétiques	12
5.4) Durée de l'étude et méthode utilisé.	13
6) Résultats et traitement statistique	16
6.1) Résultats principaux	16
6.2) Résultats annexes : détails des apports en macronutriments, selon les phases du cycle menstruel	19
6.3) Comparaisons des apports en macronutriments selon les phases :	20
6.3.1) Les glucides	20
6.3.2) Les lipides	20
6.3.3) Les protéines	20
7) Discussion et limites de l'étude	21
7.1) Interprétation des résultats	21
7.1.1) Comparaison des valeurs de disponibilité énergétique avec la littérature	21
7.1.2) Discussion concernant l'utilisation de GPS	21
7.1.3) Comparaison des valeurs d'apports énergétiques selon le cycle menstruel, avec la littérature	22

7.1.4) Prévalence des journées à faible disponibilité énergétique, avec la littérature	23
7.2) Hypothèse concernant les résultats	23
7.3) Limites de l'étude :	24
7.4) Application et perspectives	25
8) Conclusion	26
Bibliographie	27
ANNEXE 1 : Distinction entre les dépenses énergétiques liées à l'exercice et les dépenses énergétiques totales	32
ANNEXE 2: Résultats des apports en glucides selon les phases du cycle menstruel	33
ANNEXE 3: Résultats des apports en lipides selon les phases du cycle menstruel	34
ANNEXE 4 : Résultats des apports en protéines selon les phases du cycle menstruel	35

Glossaire

EA : Energy Availability (Energie disponible)

EI : Energy Intake (Apports énergétiques)

EEE : Energy Expended in Exercise (Dépenses énergétiques liée à l'exercice)

FFM : Fat Free Mass (Masse maigre)

LEA : Low Energy Disponible (Faible disponibilité énergétique)

PM : Phase menstruation

PF : Phase folliculaire

PL : Phase lutéale

RED-S : Relative Energy Deficiency (Syndrome de déficience énergétique relatif)

J : jour(s)

Introduction

Dans un contexte de développement croissant du sport féminin, la compréhension des déterminants de la performance et de la santé des athlètes devient un enjeu majeur. La nutrition sportive a longtemps été sous-étudiée chez les femmes, et s'impose désormais comme un pilier de l'accompagnement des sportives de haut niveau. Certaines spécificités physiologiques, telles que les variations hormonales liées au cycle menstruel, sont encore insuffisamment intégrées aux stratégies d'optimisation de la performance. Le concept de disponibilité énergétique (ou Energy Availability, EA) occupe une place grandissante dans la recherche en nutrition du sport. La disponibilité énergétique, désigne l'énergie restante pour les fonctions physiologiques de base après déduction de l'énergie dépensée pour l'exercice physique (uniquement), en tenant compte de la masse maigre de l'athlète. Lorsque cette énergie devient insuffisante de manière chronique, il s'agit d'un état qualifié de faible disponibilité énergétique (ou Low Energy Availability, LEA). En cas de LEA, des perturbations fonctionnelles peuvent apparaître, allant parfois jusqu'au syndrome RED-S (Relative Energy Deficiency in Sport), impactant la santé osseuse, hormonale, immunitaire ou encore cardiovasculaire. Chez les femmes, le système reproducteur est particulièrement sensible à une LEA chronique. Les troubles du cycle menstruel, comme les aménorrhées ou oligoménorrhées, en sont les premiers signes. La littérature scientifique traitant l'influence des différentes phases du cycle sur les comportements ou besoins nutritionnels des athlètes est encore émergente. Aucune étude se semble intégrer la disponibilité énergétique, et le cycle menstruel simultanément. Cela semblerait pourtant pertinent, pour mieux comprendre les vulnérabilités potentielles à la LEA selon les moments du cycle, et c'est dans ce cadre que s'inscrit cette étude de mémoire. Ainsi, les phases du cycle menstruel influencent-elles la disponibilité énergétique chez des footballeuses professionnelles ? Nous cherchons à déterminer si certaines phases du cycle menstruel exposent davantage les athlètes à une situation de LEA, afin d'envisager des prises en charge nutritionnelles personnalisées et adaptées au profil de chaque athlètes.

1) Revue de littérature

Aujourd'hui, aucune étude ne s'intéresse aux liens entre la disponibilité énergétique et les différentes phases du cycle menstruel chez des footballeuses professionnelles. Il existe cependant de nombreuses évidences scientifiques recensées dans une revue récente (Rogan et al., 2023) concernant le lien entre les apports énergétiques et les différentes phases du cycle menstruel chez la femme athlète. Cela nous permettra d'établir nos hypothèses pour notre étude.

1.1) Le cycle menstruel

Le cycle menstruel est un processus physiologique complexe, jouant un rôle essentiel dans la santé reproductive et la santé générale des femmes. Un cycle menstruel dure en moyenne 28 jours (j) (Reed et al., 2018). Cependant, la durée d'un cycle menstruel est relativement variable d'une femme à l'autre sans qu'il n'y ait nécessairement de troubles liés au cycle menstruel comme les oligoménorrhées (cycle de plus de 35 jours ou inférieurs à 21 jours) ou les aménorrhées (absence de règles).

Il existe différentes phases intervenant dans le cycle menstruel (Igonin, 2023). Ces différentes phases sont caractérisées par un pic, ou une absence hormonale (figure 1). On distingue 3 phases principales, dont les particularités sont détaillées par Reed et al. (2018) :

La phase folliculaire dure en moyenne 14 jours, menstruations comprises, lors d'un cycle de 28 jours. Elle peut se subdiviser en deux phases : la phase folliculaire précoce (menstruations), qui est une phase durant en moyenne 3 à 5 jours, caractérisés par des saignements plus ou moins abondants. Lors de cette phase les différentes hormones pouvant intervenir durant le cycle sont au plus bas. La phase folliculaire tardive, survient après les menstruations, elle est caractérisée par une élévation importante des taux d'œstrogènes dans le sang.

L'ovulation, survient en général, le 14ème jour d'un cycle de 28 jours et dure environ 24h jusqu'à 48h. Cette courte phase se caractérise par un pic élevé d'hormone lutéinisante (LH) dans le sang, qui engage la libération de l'ovule. Ainsi, l'ovulation survient 12 à 36h après ce pic de LH (Auchatraire, 2000).

Enfin, la phase lutéale est la dernière phase du cycle menstruel et dure en moyenne 14 jours lors d'un cycle de 28 jours, comme pour la phase folliculaire. Un pic de progestérone est observable en milieu de phase lutéale.

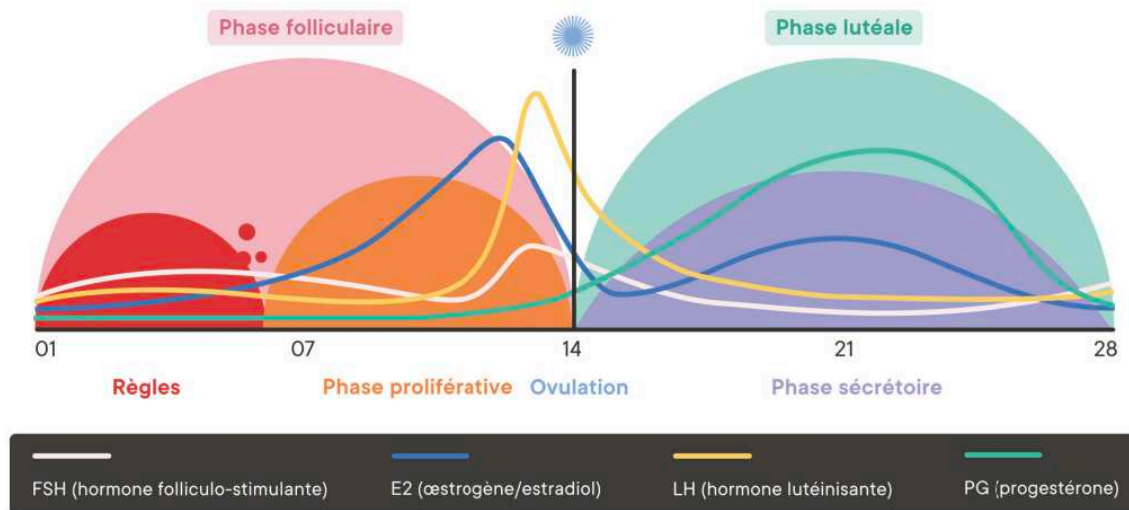


Figure 1 : Variations hormonales durant le cycle menstruel. Source : Igonin PH. 2023, extrait de l'application Clue.

La détermination des différentes phases du cycle peut s'effectuer de différentes manières. La prise de sang reste la méthode la plus précise (bien qu'invasive) pour déterminer les concentrations des différentes hormones dans le sang et ainsi identifier les phases. Les tests salivaires peuvent également servir d'outils, cependant les concentrations seront moins importantes, il y a donc une marge d'erreur plus importante. Enfin, une équation a été validée scientifiquement (McIntosh et al., 1980). L'équation a pour objectif de prédire les pics de concentration de LH dans le sang, et ainsi identifier la longueur des différentes phases du cycle (folliculaire, lutéale et donc l'ovulation) avec un intervalle de confiance de 95%. Cette dernière méthode est moins invasive dans un contexte d'étude de terrain.

1.2) L'énergie disponible

Comme nous l'avons évoqué en introduction, la disponibilité énergétique, ou Energy Availability (EA) représente un équilibre complexe entre les apports énergétiques et les dépenses énergétiques liées à l'exercice. Le concept a été popularisé par Loucks (2004), à la suite d'observations sur la triade de l'athlète féminine (ostéoporose, aménorrhées, troubles du comportement alimentaire). Il est aujourd'hui admis qu'une des principales cause de la triade de l'athlète féminine est une faible disponibilité énergétique, comme l'explique la revue du Comité international olympique (Mountjoy et al., 2018). La faible disponibilité énergétique s'explique de fait, par un déséquilibre énergétique chronique, qui ne suffit pas à couvrir les besoins des processus physiologique fondamentaux (figure 2).



Figure 2 : Conséquences d'une faible disponibilité énergétique sur l'organisme : RED-S. Source : Courir mieux de Cyril Forestier.

D'un point de vue bioénergétique, l'énergie dépensée pour un processus devient indisponible pour les autres. La prise en compte des dépenses énergétiques devient indispensable pour déterminer l'énergie disponible pour le fonctionnement des différents processus. L'équation (Loucks, 2004) a été définie comme ceci :

$$EA = (EI - EEE) / FFM$$

L'EA s'exprime en kcal/kg de masse maigre (autrement écrit : kcal/kgFFM/j). On soustrait la dépense énergétique liée à l'exercice (Annexe 1) ou « Energy Expended in Exercise » (EEE) à ceux des apports énergétiques ou « Energy Intake » (EI), avant de diviser le résultat par la masse maigre dite « Fat Free Mass » (FFM). Dans leur revue actualisée (Mountjoy et al., 2023), le Comité international olympique distingue plusieurs seuils de disponibilité énergétique :

Un seuil de disponibilité énergétique supérieur à 45 kcal/kg/FFM est adéquat pour le gain de masse musculaire ou pondéral. Les besoins physiologiques sont alors largement couverts par les apports énergétiques. Un seuil de 45kcal/kg/FFM correspondant à une maintenance pondérale et suffit amplement à couvrir les besoins physiologiques.

Entre 30 à 45 kcal/kgFFM/j la valeur est considérée comme étant suffisante pour subvenir aux besoins physiologiques, mais reste sous-optimale. En dessous de 30kcal/kg/FFM/j, nous parlons ici de faible disponibilité énergétique (LEA) pouvant causer de potentiels troubles de santé, notamment en cas d'exposition chronique (figure 2).

Le seuil critique 30kcal/kg/FFM (Harber, 2004), correspond aux besoins du métabolisme basal. En dessous de ce seuil, le métabolisme ne dispose pas des ressources énergétiques suffisantes pour fonctionner normalement. Si une LEA est présente de manière chronique chez un ou une athlète, il est possible d'observer un syndrome de déficience énergétique relatif (RED-S). Selon la revue de Mountjoy et al. (2023), les mécanismes d'apparition des symptômes de RED-S ne sont pas encore parfaitement compris par la communauté scientifique. Il semblerait que les symptômes surviennent plus tôt chez l'athlète féminine (< 30kcal/kg/FFM) plutôt que chez l'athlète masculin (9 à 25kcal/kg/FFM). Les sports les plus touchés par des cas de LEA restent les sports d'endurance (cyclisme, athlétisme...) et ceux à visé esthétique (bodybuilding, gymnastique...). Cependant, des observations sont effectuées dans d'autres sports comme le football (Dasa et al., 2023).

1.3) Mesures de composition corporelle

La composition corporelle correspond à l'analyse du corps humain selon différents compartiments. Afin de résoudre l'équation de disponibilité énergétique, l'analyse de composition corporelle en deux compartiments (masse maigre et masse grasse) est indispensable. De nombreuses méthodes existent afin de déterminer ces compartiments, mais les méthodes de mesures indirectes sont privilégiées pour les mesures de terrain. Le niveau de fiabilité diffère selon les outils et les méthodes utilisés. Un appareil d'absorption biphotonique à rayons X (DEXA) restent aujourd'hui l'outil le plus précis et fiable pour évaluer la composition corporelle d'un individu. Cependant, il est préconisé d'utiliser la méthode des plis cutanés (Kasper et al., 2021), réalisable avec une pince à plis cutanés référencée, quand le DEXA est inaccessible. Cette dernière méthode présente l'avantage d'être peu onéreuse, pratique, et rapide à mettre en place, à condition d'être bien exécuté par un anthropométriste référencé ISAK (The International Society for the Advancement of Kinanthropometry). Il existe plus d'une centaine d'équations pour convertir la somme des plis cutanés en pourcentage de masse grasse. Bien que beaucoup d'équations soient référencées, les résultats sont significativement différents selon les formules utilisées (Vaquero et al., 2020). Ces écarts s'expliquent par le fait que ces équations ont été validées scientifiquement sur des populations différentes. Ainsi, la formule de Durnin et Wormsley

est certainement la plus populaire pour évaluer une population générale, tandis que les équations de Faulkner et Carter ont été validés sur des populations de sportifs d'élites et olympiques. L'équation de Faulkner servira de référence pour cette étude :

$$\% \text{Masse grasse} = (0,213 * (\sum 4 \text{ plis}) + 7,9)$$

Avec : $\sum 4$ plis en millimètres = pli tricipital + pli sous scapulaire + pli supra spinal + pli abdominal.

1.4) Dépenses énergétique

Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour estimer les dépenses énergétiques. La méthode la plus précise, et aussi la plus onéreuse, est celle de l'eau doublement marquée comme utilisée par Dasa et al., (2023). Cette technique consiste en l'ingestion d'une eau riche en un isotope marquée. La quantité d'isotopes retrouvés dans l'organisme du sujet, à la suite d'une période donnée, permet d'estimer les dépenses énergétiques. Cependant, cette technique renseigne sur une dépense énergétique « globale ». Il est difficile d'estimer exactement la quantité d'énergie dépensée sur une courte période définie (comme un entraînement). Dans le cadre d'une étude de terrain, l'utilisation d'un Global Positioning System (GPS) comme outil semble plus accessible, et bien moins onéreux. Le GPS permet de classer les différentes distances parcourues et les temps passés à différentes intensités lors d'une session d'entraînement. Il est ainsi possible de croiser ces données avec les valeurs d'unités métaboliques (Ainsworth et al., 2011) aussi appelées « Metabolic Equivalent of Task » (MET). Les MET se définissent comme ceci : 1 MET = 1kcal/kg/heure. Par exemple, un individu de 70kg pratiquant une activité demandant 7 MET pendant une heure dépensera 490kcal. Les MET ont été répertoriés selon de nombreuses activités et permettent ainsi d'estimer avec une certaine précision les dépenses énergétiques d'une activité donnée.

1.5) Lien entre apports énergétiques et les différentes phases du cycle menstruel

Une méta-analyse récente (Tucker et al., 2024) nous donne un bon aperçu des effets des différentes phases du cycle menstruel sur les apports énergétiques chez des athlètes. Les résultats sont assez hétérogènes selon les études. Cela peut s'expliquer par le fait que la recherche scientifique autour des femmes a particulièrement évolué lors des dernières décennies. Les différences méthodologiques peuvent également expliquer ces différences. Sept études révèlent que les apports énergétiques sont en

moyenne plus élevés en phase lutéale qu'en phase folliculaire et 7 études ne déclarent aucune différence significative. Au total, une seule étude (Kamoun et al., 2017) rapporte avoir travaillé en collaboration avec un diététicien pour confirmer les apports alimentaires. Au cumul des études, les apports énergétiques sont supérieurs de 168kcal par jour, en moyenne, en phase lutéale plutôt qu'en phase folliculaire. Les scientifiques ont émis l'hypothèse que l'oestradiol serait impliquée dans la modification des apports énergétiques, en se liant aux neurones inhibiteurs de l'appétit (Moniz et al., 2023 ; Butera, 2010 ; Dalvit., 1981).

1.6) Lien entre énergie disponible et physiologie féminine

De nombreuses études mettent en évidence les liens entre les LEA et les perturbations liées au cycle menstruel chez des athlètes féminines. Il est démontré qu'un seuil de disponibilité énergétique inférieur à 30kcal/kg/FFM diminue la fréquence de pulsativité de l'hormone Lutéinisante (LH) (Loucks et al., 2003) et ceux même à court terme. Il est d'ailleurs intéressant de noter à travers cette étude, qu'une LEA induite par une restriction alimentaire impact significativement plus la fréquence pulsatile de LH qu'une LEA induite par un volume d'exercice physique élevé. Par ailleurs, une LEA provoque d'autres perturbations hormonales notables (Loucks et al., 1985) notamment une élévation du taux de cortisol sanguin, synonyme de stress, mais aussi une diminution des hormones thyroïdiennes (T3) impliqués dans la régulation du métabolisme basal. Ces observations deviennent évidentes sous le seuil de 25kcal/kg FMM/j (Loucks and Heath., 1994) et sont confirmées par des études plus récentes sur le sujet (Areta et al., 2021). Selon cette dernière, une LEA à court terme induirait une diminution de la glycémie au repos, et intervient dans la diminution voir la suppression d'hormones métaboliques (IGF-1, insuline, T3) et d'hormones liées à la reproduction (oestradiol, LH, GRH) lorsque cette même LEA est significativement basse. L'organisme sait s'adapter aux situations de stress en cas de déficit énergétique important. Le fonctionnement du corps s'altère et celui-ci priorise les fonctions liées à la survie au détriment des fonctions non-vitales (ex: reproduction).

En lien avec la performance, il est rapporté (Areta et al., 2014) que la synthèse musculaire diminue significativement (24%) en situation de LEA comparativement à une EA jugée saine. Cela perturberait significativement les performances et la récupération des athlètes féminines. Toujours en lien avec la récupération et la performance, il s'avère que les différentes phases du cycle menstruel impactent le stockage du glycogène musculaire (Matsuda et al., 2023). La phase folliculaire, corrélée avec une diminution du métabolisme de base, ne permet pas une glycogénogénèse optimale, comme en phase lutéale où le métabolisme est plus élevé (Benton et al., 2020).

2) Milieu professionnel

Mon travail de mémoire a été effectué au sein de ma structure d'alternance, le Racing Club de Lens, club professionnel de football. Le Racing Club de Lens est un club de football français fondé en 1906. Le centre d'entraînement de la formation, des équipes féminine et masculine professionnels, appelé « La Gaillette-Gervais Martel », est situé dans la ville d'Avion, dans le nord de la France. Fort de son histoire, le club est profondément ancré dans sa région et bénéficie d'un fort soutien populaire, notamment à travers son mythique stade Bollaert-Delelis, réputé pour son ambiance chaleureuse. Le RC Lens a connu plusieurs périodes de gloire, dont un titre de champion de France en 1998. Aujourd'hui, le club évolue en Ligue 1 et se distingue par la qualité de sa formation, sa culture du travail, et des valeurs fortes de solidarité et d'engagement. Il s'appuie notamment sur un centre de formation, qui vise à développer des joueurs performants sur le plan sportif. Après de nombreuses saisons en ligue 2, le RCL retrouve la ligue 1 depuis 2020, et cherche à développer depuis lors, son équipe féminine. L'objectif de ce projet, est de créer une équipe compétitive sur la seconde ligue de football professionnel féminin, et à terme, espérer une montée en Arkéa Première Ligue. Par ailleurs, ce dernier objectif a pu être atteint cette saison.

Le groupe féminin est composé au total de 28 joueuses, en comptant au sein du groupe, les jeunes U19 dont la majorité des entraînements s'effectuent avec le groupe professionnel. La section féminine compte en son sein plusieurs salariés à temps pleins, dont les activités sont consacrées exclusivement au fonctionnement de l'équipe féminine. Autour de la coach principale, il y a un coach adjoint, un entraîneur des gardiens, un analyste vidéo, deux préparateurs physiques dont une en spécialité réathlétisation. Au sein du pôle santé, deux kinés sont attitrés à l'équipe, dont un est à temps plein au club et un autre intervient sur prestation. Le médecin du centre de formation est également en charge de l'équipe féminine. D'autre part, il s'agit de la première année pour laquelle l'équipe féminine bénéficie de l'accompagnement d'un diététicien nutritionniste. Les missions sont multiples et se caractérisent par des présentations de sensibilisation, des suivis individualisés, et des suivis anthropométriques. L'objectif de ces actions est de donner les clés aux joueuses pour devenir les meilleurs athlètes possibles sur le terrain, et de les rendre autonomes en dehors de celui-ci. Pour cela, la prise en compte de spécificités féminines, notamment physiologique, devient essentielle pour ajuster les stratégies nutritionnelles. Ce contexte représente un terrain d'application intéressant pour des démarches scientifiques, et permet d'initier des projets en lien avec la réalité du terrain.

3) Problématique et objectif de l'étude

Les différentes phases du cycle menstruel, ont-elles un impact sur la disponibilité énergétique chez des footballeuses professionnelles ?

3.1) Justification du sujet

S'il est possible d'émettre des hypothèses sur l'influence des différentes phases du cycle menstruel sur l'énergie disponible, le manque de littérature sur le sujet ne permet en rien de les confirmer. De plus, nous savons qu'une LEA, même à court terme, influence la performance sportive, mais surtout la santé d'une athlète, et si les différentes phases du cycle menstruel peuvent avoir une influence sur l'apport énergétique des athlètes, il est possible que certaines phases du cycle puissent induire une LEA. Chaque personne est intrinsèquement différente d'une autre, la réalisation de cette étude permettra à chaque footballeuse de mieux se connaître, aux préparateurs physiques de mieux anticiper les charges de travail selon les phases, et au nutritionniste de proposer des solutions concrètes aux potentiels risques.

4) Hypothèses

Les hypothèses de l'étude sont les suivantes :

H0 : les phases du cycle menstruel n'influencent pas la disponibilité énergétique des footballeuses.

H1 : les phases du cycle menstruel influencent la disponibilité énergétique des footballeuses.

L'hypothèse H1 sera acceptée s'il existe une différence statistique significative entre au moins deux des trois phases des cycles menstruels recensés. Toutefois, nous supposons par H1, si l'hypothèse est validée, que la phase lutéale est statistiquement supérieure à la phase folliculaire. Cette hypothèse est la plus probable compte tenu des différents résultats de la littérature scientifique traitant des apports énergétiques en lien avec le cycle menstruel. Le traitement statistique sera effectué selon un intervalle de confiance de 95%.

5) Protocole expérimentale

5.1) Public de l'étude :

Le public étudié est composé d'un total de 25 joueuses de football de niveau professionnel. Il s'agit des 25 joueuses ayant répondu au questionnaire préalable à l'étude, envoyé après la présentation faite à l'équipe concernant notre étude. Le groupe présente une moyenne d'âge de $21,5 \pm 4,6$ ans, avec une taille moyenne de $166 \pm 5,0$ cm, une masse moyenne de $59,5 \pm 7,0$ kg. Au démarrage de l'étude, le pourcentage de masse grasse moyen est de $16,1 \pm 1,57\%$ et la masse maigre, de $50,9 \pm 5,4$ kg. La durée moyenne du cycle menstruel de l'ensemble des joueuses est de $27,8 \pm 3,5$ j.

5.2) Critères d'exclusion de l'étude :

Dans le but de limiter les biais de l'étude et de présenter des résultats les plus fiables possibles, des critères d'exclusion sont posés. Les joueuses présentant des aménorrhées (ou absence de menstruation) ne peuvent pas participer à l'étude. En effet, aucun élément ne permettrait de déterminer les différentes phases du cycle, cependant, aucune joueuse n'a été concerné par ce critère.

Les oligoménorrhées (caractérisées par un cycle inférieur à 21 jours, ou supérieur à 35 jours) sont considérées comme des cycles « anormaux » de par leur spécificité. Il est fréquent d'observer chez les femmes présentant des oligoménorrhées, une pulsatilité de l'hormone LH insuffisante pour déclencher une ovulation. De fait, les phases du cycle menstruel sont perturbées. Quatre joueuses sont concernées par des oligoménorrhées. L'utilisation d'un moyen de contraception hormonale ne permet pas non plus aux joueuses de participer, en raison d'un cycle menstruel modulé par des hormones artificielles. Le cycle est ainsi « lissé » par la prise d'hormones au jour le jour. Six joueuses prennent une contraception hormonale.

D'autres critères viennent entraver la participation de potentielles participantes. Les joueuses U19 appartenant au groupe professionnel et ayant répondu au questionnaire, ne disposent pas de données GPS. De fait, le calcul de l'EA est impossible. Six joueuses sont concernées par les GPS. Pour conclure, 1 joueuse ne participe finalement pas en raison d'une blessure de longue durée (rupture des ligaments croisés antérieur).

5.3) Outils pour l'étude

5.3.1) Détermination des phases du cycle menstruel :

Plusieurs outils ont été utilisés pour, à terme, déterminer les différentes phases du cycle de chaque joueuse :

Un questionnaire Wellness modifié, à remplir chaque matin par les joueuses. Celui est déjà mis en place par le staff de l'équipe depuis l'an passé. Il a pour but de renseigner sur la présence ou non de règles, et si présence il y a : début, milieu ou fin de règles. Il renseigne également sur l'humeur, le niveau de fatigue, sur la qualité de la nutrition et de l'hydratation, le tout basé sur une note sur 5, déterminer par la joueuse. La base de données de ce questionnaire établit sur plusieurs mois, nous permet d'estimer la longueur de chaque cycle menstruel des joueuses.

Un questionnaire d'informations, a été envoyé à l'équipe en amont de l'étude, dans le but d'évaluer si des footballeuses présentaient des critères d'exclusion. En plus de cela, celui-ci a permis d'évaluer la durée des cycles menstruels connus des filles et la date de leurs dernières règles.

L'équation de McIntosh (1980) qui permet de prévoir le pic de LH avec un intervalle de confiance de 95% permet ainsi de déterminer la durée des deux principales phases, en fonction de la durée du cycle menstruel des joueuses, et ce, avec précision.

5.3.2) Evaluation de l'apport énergétique

Le carnet de notes, à permis aux joueuses de noter certains aliments consommés lors des journées ciblées, qui étaient non-présent sur les photos, ou non-discernable (exemple : huile d'olive, shaker...). Cet outil est régulièrement utilisé dans les études scientifiques pour estimer les apports énergétiques, comme pour l'étude Macuh et al. (2023). Les photos seront l'outil principal pour déterminer les apports des joueuses. Les joueuses ont fourni les photos associées aux repas qu'elles ont consommés lors des journées ciblées. Ce moyen à permis au diététicien de pouvoir calculer lui-même les quantités selon les valeurs nutritionnelles des aliments. Des repères de quantités seront utilisés pour estimer les apports caloriques.

Enfin, un logiciel de calcul d'apports énergétique (tableur Excel personnel) a servi d'outil pour évaluer les apports énergétiques. Le logiciel a été construit selon les valeurs nutritionnelles fournies dans la table Ciqual de l'ANSES (agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail). Les calculs ont été effectués par le diététicien également.

5.3.3) Mesures des dépenses énergétiques

Les GPS catapult sont utilisés par l'ensemble des équipes du club, de la formation aux professionnels en passant par l'équipe féminine. Les GPS permettent de fournir les informations concernant les activités des joueuses pendant les entraînements et en match. Ces informations, nécessaires à l'évaluation des dépenses énergétiques, ont été récupérées en collaboration avec les préparateurs physiques de l'équipe. Les données sont les suivantes : les temps et les distances passées dans les différentes intensités pendant les sessions d'entraînement et de match. Les GPS sont équipés de système intégrant ces valeurs avec les données MET. L'intégration de la masse des joueuses dans les GPS permet de croiser les valeurs de MET avec le poids, les distances, les intensités, et l'ensemble des paramètres de déplacement, incluant les phases d'accélération et de décélération. Le GPS fournit alors une valeur de dépense énergétique selon l'ensemble de ces paramètres. Le tableau d'équivalence métabolique (MET) est également utilisé manuellement, dans le but d'estimer les dépenses énergétiques liées aux séances de musculation (s'effectuant sans GPS), les valeurs de MET sont estimées selon les contenus des séances en salle et de leurs durées. Ces paramètres sont croisés avec les masses des joueuses et sont automatisées à l'aide d'un tableur Excel. Les durées de séances de musculation renseignent donc, *in fine*, la dépense énergétique de chaque joueuse sur ces séances de musculation.

5.3.4) Mesures de la masse maigre

La pince à plis cutanés Harpenden est une pince de référence utilisée par les anthropométristes référencés par l'International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK). Cette pince permet de déterminer la somme des plis cutanés des footballeuses selon un protocole standardisé. Les mesures sont effectuées 2 à 3 fois pour chaque site de mesure. Sept sites sont mesurés à l'aide d'une manipulation spécifique : elle est systématiquement effectuée du côté droit (par convention), chaque pli est pincé avec la technique du « bec de perroquet » afin de ne prendre que le tissu adipeux, et non le tissu conjonctif sous-jacent. La moyenne des deux mesures pour chaque site sert de valeur de référence pour le site concerné. Si la marge d'erreur entre les deux mesures est supérieure à 5%, une troisième mesure est effectuée sur le site concerné, et la médiane des trois valeurs est conservée comme valeur de référence pour le site. La somme des plis sera convertie en % de masse grasse à l'aide la formule de Faulkner. L'équation de Faulkner est l'équation utilisée pour estimer la masse grasse des athlètes féminines de l'équipe depuis le début de saison. Une fois la masse grasse mesurée, elle sera soustraite

de la masse corporelle des joueuses afin d'obtenir la masse maigre. Enfin, une balance standard, servira à mesurer la masse des participantes.

5.4) Durée de l'étude et méthode utilisé.

L'étude s'est déroulée sur un à deux cycles menstruels par joueuse maximum, selon la réalisation du protocole, des variations physiologiques, et de l'implication de la joueuse. En tenant compte du fait que les menstruations ne sont pas survenues au même moment pour chaque joueuse, l'étude a duré 96 jours. Le premier jour de l'étude a démarré le 9 février au début des menstruations du premier cycle de la première joueuse, jusqu'au début des menstruations du 3ème cycle de la dernière joueuse, le 16 mai 2025, marquant ainsi la fin du second cycle de celle-ci. Un rétroplanning a été tenu tout au long de l'étude, anticipant l'ensemble des journées ciblées pour chaque participante. Un rappel a été envoyé individuellement à l'ensemble des participantes, lors de chaque veille de phase. Cette méthode a permis de limiter au maximum les oublis.

L'objectif est d'évaluer la disponibilité énergétique des différentes phases du cycle menstruel, qui se coordonnent avec un pic (ou une absence) hormonal spécifique. Il y aura 3 journées au sein de chaque phase où l'énergie disponible sera mesurée, la valeur des 3 journées constituera une moyenne pour la phase concernée. (figure 5). Cette méthode permet de mesurer plus précisément chaque valeur de phase, afin d'éviter des valeurs aberrantes, ou des journées manquantes. Cependant, si par exemple, une seule journée a pu être comptabilisée lors d'une phase, en raison de divers facteurs (oublis, manque de données...), cette seule journée servira de moyenne pour la phase entière.

Le figure 5 permet de représenter les phases ciblées.

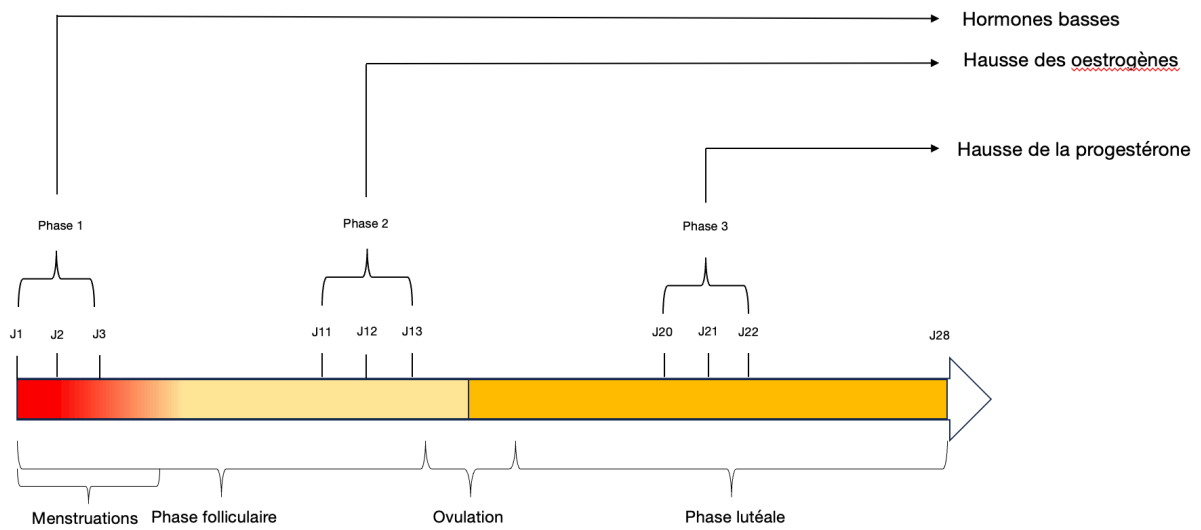


Figure 5 : Représentation schématique des différentes journées évaluées pour un cycle de 28 jours.

Source personnelle.

Dans le cas d'un cycle de 28 jours, les journées seront évaluées comme sur la figure 5 : les 3 journées de la phase menstruelle seront celles du premier au troisième jour de règles. Les 3 journées de la phase folliculaire seront déterminées selon la longueur de la phase, à l'aide de l'équation de McIntosh (1980). Ainsi, les 3 journées ciblées de cette phase sont les 3 journées précédant le jour théorique d'ovulation. Enfin, les journées de la phase lutéale sont les 3 journées situées au milieu de la phase lutéale. L'ensemble des journées est ainsi ciblé, en raison de leurs correspondances avec la survenue des variations hormonales les plus importantes. Pour chacune de ces journées, les apports énergétiques seront calculés pour chaque joueuse, comme le montre les figures 6 :

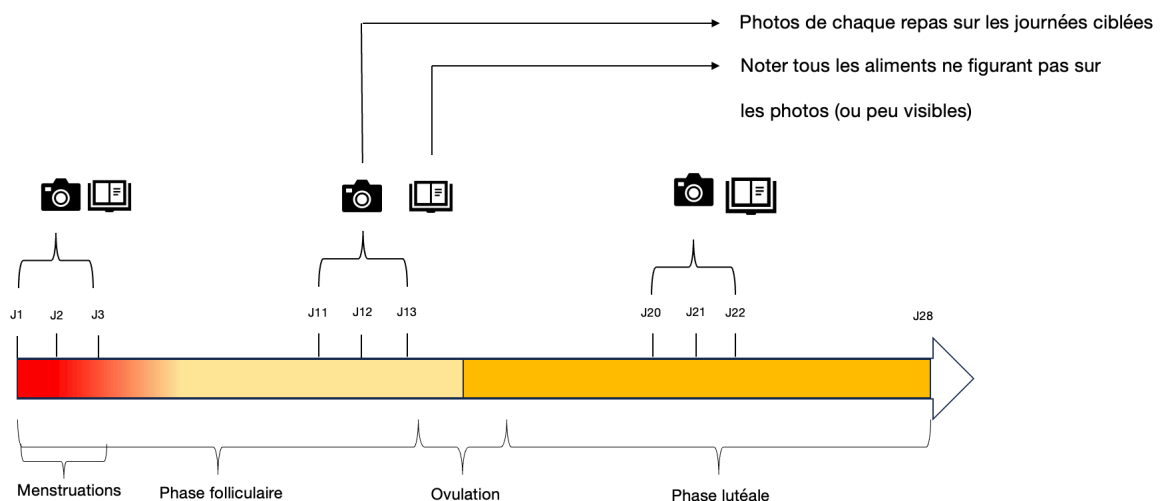


Figure 6 : Représentation des journées où les apports énergétiques seront calculés. Source personnelle.

Les différentes dépenses énergétiques inhérentes aux journées concernées pour chaque joueuse (figure 7), seront récupérées par l'intermédiaire des préparateurs physiques de l'équipe. La valeur de référence des journées de repos sera de 0kcal, étant donné l'absence de dépenses énergétiques liées directement à l'exercice. Pour les journées d'entraînement, les dépenses énergétiques correspondront aux données GPS (dépenses énergétiques liées au terrain) et aux calculs de dépenses énergétiques liés aux séances de musculation en salle. Les dépenses liées à la salle ont été estimées selon les programmes de séance. Les durées des séances en salle, quant à elles, sont toujours les mêmes. Les journées d'entraînement en salle sont également stables : le mercredi et le jeudi.

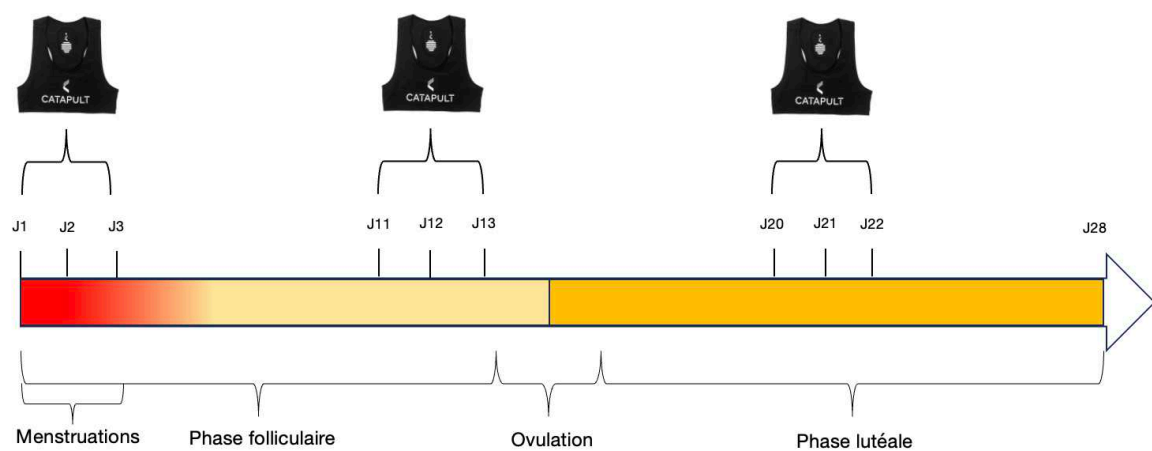


Figure 7 : Représentation des journées où les dépenses énergétiques seront calculées. Source personnelle.

Enfin, les données anthropométriques ont été estimées une fois par mois, en fin de mois. L'anthropométriste a été le même pour chaque mesure, et s'est muni du même outil pour chaque mesure. Chaque valeur de masse maigre a été mise à jour avec l'avancée du calendrier pour effectuer les calculs de disponibilité énergétique. L'ensemble des données récoltées ont permis de résoudre l'équation de Loucks pour chaque joueuse, et sur chaque journée.

6) Résultats et traitement statistique

6.1) Résultats principaux

Après application de l'ensemble des critères d'exclusion relatifs à notre étude, 11 cycles menstruel complet (n=11) d'une longueur moyenne de $26,7 \pm 2,9j$, ont été retenus, et organisés dans le tableau de la figure 8.

Disponibilité énergétique selon les phases du cycle menstruel			
Cycles menstruels	Menstruation	Folliculaire	Lutéale
Cycle 1	28,0	29,9	39,6
Cycle 2	34,3	33,8	37,9
Cycle 3	45,6	42,9	45,4
Cycle 4	33,3	24,8	33,8
Cycle 5	26,2	32,3	24,3
Cycle 6	37,8	27,9	25,1
Cycle 7	29,6	25,5	33,8
Cycle 8	27,9	33,6	32,2
Cycle 9	48,3	46,5	52,5
Cycle 10	31,5	36,9	26,1
Cycle 11	34,5	41,4	43,0
Moyenne	34,3	34,1	35,8
Ecart Type	7,2	7,2	9,0
Normalité	0.134	0.661	0.696
p value ANOVA		0.648	

Figure 8 : Recensement des valeurs moyennes de disponibilités énergétiques (kcal/kg FFM/j) pour chaque cycle menstruel

Au total, 86 journées sont retenues pour l'étude et correspondent aux 11 phases menstruation (PM), 11 phases folliculaires (PF) et 11 phases lutéale (PL). La normalité a été vérifiée à l'aide d'un test de Shapiro-Wilk (figure 10) pour la phase PM ($p=0,134$), la phase PF ($p=0,661$), et la phase PL ($p=0,696$). Un test de sphéricité a également effectué ($p>0,05$), et valide l'utilisation d'un test paramétrique pour traiter nos résultats. Le test choisi sera une ANOVA à 3 voies pour valeurs appariées. Les résultats sont représentés graphiquement par la figure 9 :

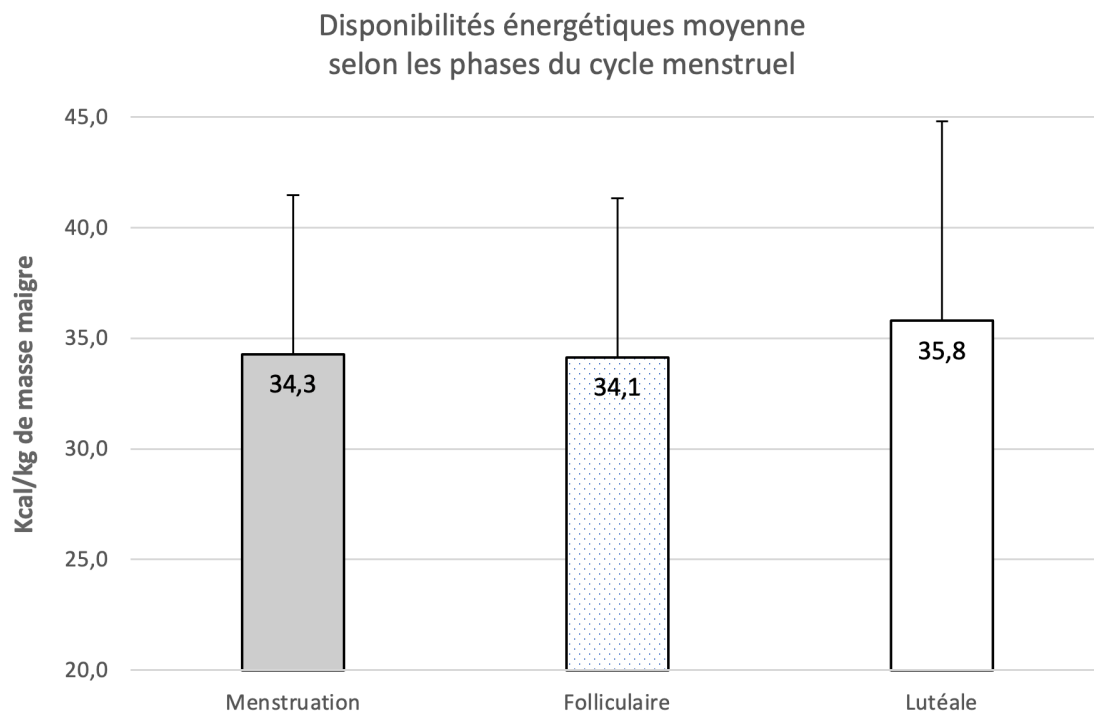


Figure 9 : Valeurs moyennes des disponibilités énergétiques selon les phases du cycle menstruel

Dans le but de comparer les différences potentielles entre les différentes phases, le test ANOVA à mesures répétées pour données appariées (3 voies) a été effectué. Les valeurs des phases menstruations (PM) et folliculaires (PF) sont relativement proches ($PM = 34,3 \pm 7,2$ et $PF = 34,1 \pm 7,2$), la valeur moyenne de la phase lutéale (PL) est légèrement plus élevée ($PL = 35,8 \pm 9,0$). L'ANOVA ne donne aucune différence significative (figure 10) entre les disponibilités énergétiques des différentes phases du cycle menstruel ($p=0,648$). On accepte H_0 selon un intervalle de confiance de 95%. Aucun test post-hoc ne sera nécessaire. La mesure des tailles d'effets (ES) indique un effet (faible) de la phase lutéale par rapport à la phase folliculaire ($ES=0,21$, soit $>0,2$). Aucun effet de PL sur PM ($ES=0,19$) ni entre PM et PF ($ES=0,02$).

Effets intra-sujets

	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p
Mesures répétées - facteur 1	18.6	2	9.28	0.443	0.648
Résidu	418.7	20	20.94		

Note. Somme des carrés de type 3

Figure 10 : p-value de l'ANOVA à mesures répétées

Sur les 86 journées comptabilisées pour l'étude (figure 11), 27 journées correspondent à la phase menstruation (10 journées de repos, 15 d'entraînement, et 2 de match), 32 journées à la phase folliculaire (15 de repos, 16 d'entraînement, 1 de match) et 27 journées à la phase lutéale (10 jours de repos, 16 journées d'entraînements, 1 de match).

Nb de journée type	Menstruation	Folliculaire	Lutéale	TOTAL
REPOS	10	15	10	35
ENTRAINEMENT	15	16	16	47
MATCH	2	1	1	4
Total	27	32	27	86

Figure 11 : Recensement des journées selon les types de journées, et selon les phases du cycle menstruel

La prévalence de journée à faible disponibilité énergétique, soit inférieure à 30kcal/kg FFM/j (figure 12) sans tenir compte des types de journées, est de 37% en PM, 44% en PF et 33% en PL. La prévalence des journées à faible disponibilité énergétique, sans tenir compte des phases du cycle menstruel est de 14% en journée de repos, 55% en journée d'entraînement, et 50% en journée de match.

	Prévalence de faible disponibilité énergétique (LEA)			
JOURNEES	Menstruation	Folliculaire	Lutéale	TOTAL LEA
REPOS	1	4	0	5
ENTRAINEMENT	7	10	9	26
MATCH	2	0	0	2
TOTAL LEA	10	14	9	33

Figure 12 : Recensement des journées à faible disponibilité énergétique selon les types de journées et selon les phases du cycle menstruel.

6.2) Résultats annexes : détails des apports en macronutriments, selon les phases du cycle menstruel

La disponibilité énergétique dépend en premier lieu des apports énergétiques, qui elle-même, dépend du total énergétique des différents apports en macronutriments. Les résultats des apports énergétiques moyens des 11 cycles, selon les différentes phases du cycle menstruel sont les suivants :

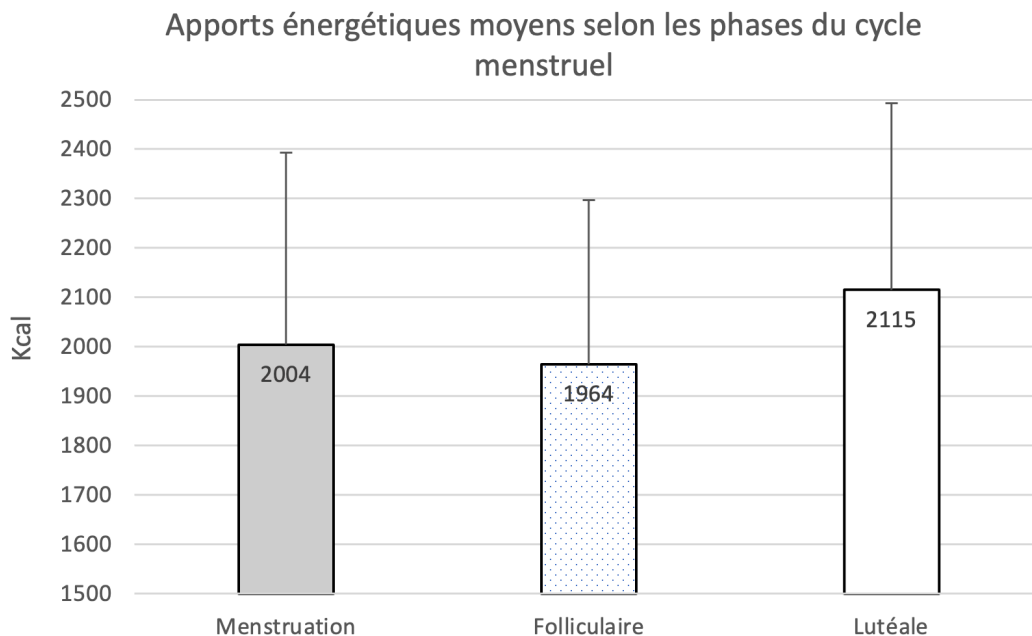


Figure 13 : Valeurs moyennes des apports énergétiques selon les phases du cycle menstruel

La valeur de PF (1964 ± 332 kcal) est plus basse que celle de PM (2004 ± 389 kcal) et celle de PL (2115 ± 379 kcal). La normalité n'est pas respectée pour la série PM ($p=0,029$). Un test de Friedman (non paramétrique) a été effectué dans le but de déterminer si une différence statistique significative existe entre les différentes phases. Aucune valeur entre les phases n'est au moins égal à la valeur significative du test (figure 14), ce qui signifie qu'il n'y a pas de différences statistiques entre les phases. Il existe cependant une faible taille d'effet de PL, par rapport à PM ($ES=0,29$) et PF ($ES=0,42$).

Différences		Valeurs	Les différences supérieures ou égales à 'valeur' sont significatives au seuil choisi
Sér.1-Sér.2 =	5,00	valeur = 11,23	
Sér.1-Sér.3 =	2,00	valeur = 11,23	
Sér.2-Sér.3 =	7,00	valeur = 11,23	

Figure 14 : Résultats du test de Friedman comparant les différences entre les apports énergétiques moyens des différentes phases du cycle menstruel, au seuil de risque de 5%

6.3) Comparaisons des apports en macronutriments selon les phases :

Les tests statistiques effectués pour comparer les apports en glucides et en lipides, selon les phases sont les mêmes que pour la disponibilité énergétique, à savoir une ANOVA pour données appariées, à 3 voies.

6.3.1) Les glucides

Les apports en glucides sont détaillés dans (Annexe 2). En PL, les résultats sont de 252 ± 47 g/j, ce qui est plus élevé que les phases PM (233 ± 47 g/j) et PF (236 ± 43 g/j). Les normalités sont respectées pour chaque série, l'ANOVA ne démontre aucune différence significative ($p=0,543$) entre les différentes phases. Une faible taille d'effet existe cependant entre PL et PM ($ES=0,40$) ainsi qu'entre PL et PF ($ES=0,34$).

6.3.2) Les lipides

En ce qui concerne les lipides, la phase PL est une nouvelle fois plus élevée (81 ± 18 g/j) que les PM (74 ± 17 g/j) et PF (73 ± 15 g/j). Les normalités sont respectées (Annexe 3) pour chaque série. L'ANOVA (Annexe 2) ne démontre aucune différence significative entre les phases ($p=0,116$), mais il existe, au même titre que les glucides, une faible taille d'effet de la phase PL sur PM ($ES=0,37$) et de PL par rapport à PF ($ES=0,43$).

6.3.3) Les protéines

Enfin, les apports en protéines sont plus élevés en PM (102 ± 32 g/j) par rapport à PF (91 ± 21 g/j) et PL (99 ± 22 g/j). La série PM ne respecte pas la normalité ($p=0,016$), un test de Friedman est effectué dans le but de déterminer des différences significatives potentielles. Les valeurs de chaque comparaison de série ne sont pas au moins égal à la valeur significative du test (Annexe 4), il n'y a pas non plus, de différence significative des apports en protéines selon les différentes phases du cycle menstruel.

7) Discussion et limites de l'étude

7.1) Interprétation des résultats

7.1.1) Comparaison des valeurs de disponibilité énergétique avec la littérature

Les objectifs de cette étude étaient multiples. Bien que la disponibilité énergétique soit de plus en plus étudiée sur le terrain et considérée comme un facteur déterminant de la performance sportive et de la santé (Mountjoy et al., 2018, 2023) aucun article scientifique ne s'est penché sur la question de la disponibilité énergétique en fonction des phases du cycle menstruel. La disponibilité énergétique est davantage étudiée selon les journées d'entraînement ou de match seulement. Une étude ayant eu accès à des outils de grande qualité (Dasa et al., 2023) comme l'eau doublement marquée (outil de référence pour déterminer les dépenses énergétiques), met en avant une moyenne de $37,9 \pm 11,7$ kcal/kg FFM/j sur les journées d'entraînement, quand notre protocole évalue une moyenne de $31,7 \pm 9,6$ kcal/kg FMM/j sur les journées d'entraînement (toute phase du cycle incluse) soit une différence de 19,55%. Cette différence peut s'expliquer de plusieurs manières : d'une part, les apports énergétiques moyens sur les jours d'entraînement sont inférieurs dans notre étude (2020 ± 493 kcal/j) tandis que la moyenne des apports énergétiques était de 2274 ± 450 kcal/j pour l'étude de Dasa et al., (2023), soit une différence de 12,57%. D'autre part, l'écart restant peut être expliqué par le pourcentage de masse maigre estimé. Si Dasa et al. utilisent le modèle DEXA, qui est le « gold-standard » pour la mesure de composition corporelle, ici, nous utilisons une équation d'estimation de la composition corporelle par la méthode de plis cutanés (équation de Faulkner). Cette équation a été validée sur une population de sportive de haut-niveau et olympique, et pourrait sous-estimer le % réel de masse grasse de notre population. D'un point de vue global, nos résultats semblent plutôt inférieurs à la littérature.

7.1.2) Discussion concernant l'utilisation de GPS

L'évaluation de la dépense énergétique dans notre étude pourrait sous-estimer la dépense réelle liée à l'exercice, ne prenant pas en compte le coût énergétique des contacts, du stress thermique ou des sauts. Bien que les GPS catapult fournissent des données pertinentes de dépenses énergétiques liées aux distances, vitesses, changements de direction (Minetti et al., 2002 ; Osgnach et al., 2009). D'autre part, les GPS catapult ne prennent pas en compte les variations potentielles du métabolisme énergétique liée au cycle menstruel.

Cependant, il n'est pas surprenant de retrouver des résultats différents dans une étude plus récente (Frazer et al., 2024), où la moyenne de disponibilité énergétique est de $30,7 \pm 7,5$ kcal/kg FMM/j, ce qui est inférieur de 3,2% avec nos résultats liée aux journées d'entraînement. L'étude de Frazer et al. (2024) ne trouve aucune athlète n'ayant atteint le seuil de disponibilité énergétique de 45kcal/kg FMM/j, tandis que dans notre étude, 4 journées d'entraînement (seulement) sur 47 atteignent des valeurs de disponibilités énergétiques au moins égale à 45kcal/kg FMM/j.

7.1.3) Comparaison des valeurs d'apports énergétiques selon le cycle menstruel, avec la littérature

En ce qui concerne le cycle menstruel, seules des études s'intéressant aux apports énergétiques uniquement ont vu le jour. Si une méta-analyse récente (Tucker et al., 2024) recense une quinzaine d'études sur les variations des apports énergétiques en fonction des phases du cycle menstruel, les résultats sont hétérogènes, puisque 7 études déclarent une différence significative entre les phases, tandis que les 7 autres n'en déclarent aucune. Cependant, certaines études, observent parfois des valeurs d'apports énergétiques plus élevés en PL (Souza et al., 2018 ; Johnson et al., 1994) sans différence significative entre les phases. Si Johnson et al. (1994) retrouvent une valeur supérieure de 163kcal en moyenne entre les phases lutéale et folliculaire, sans différence statistique, d'autres études (Li et al., 1999) prouvent une différence statistique entre ces deux mêmes phases, avec des résultats légèrement supérieurs (200kcal supérieur en phase lutéale par rapport à la phase folliculaire).

Dans notre étude, les différences de valeurs entre les disponibilités énergétiques des différentes phases du cycle menstruel sont de 0,2kcal/kg FMM/j supérieur en PM par rapport à PF, de 1,5kcal/kg FMM/j supérieur en PL par rapport à PM et de 1,7kcal/kg FMM/j supérieur en PL en comparaison de PF. À titre indicatif, la différence d'apport énergétique entre PL et PF est de 151kcal/j en moyenne, soit une différence inférieure aux études de Johnson et al. (1994) et de Li et al. (1999). Certaines études de cette méta-analyse (Gil et al., 2009 ; Kammoun et al., 2016) vont plus loin dans la différence entre les phases, et mettent en avant les comparaisons entre les apports en macronutriments (protéines, lipides, glucides). Dans ces études, les apports énergétiques, les glucides et les lipides sont supérieurs en phase lutéale par rapport à la phase folliculaire, ce que nous retrouvons également dans notre étude, sans différence significative. L'étude de Kammoun et al. (2016) retrouve des valeurs plus élevées en protéines entre ces deux mêmes phases, ce que nous observons également, sans différence statistique. Cependant, les valeurs en protéines étaient sensiblement identiques entre PM et PL, et seulement

moins élevées en PF. Les protéines ont un fort effet satiétogène, donc les résultats peuvent sembler logique au regard de l'hypothèse selon laquelle les œstrogènes (sécrétés en majorité en phase folliculaire) inhibent la satiété. Ainsi, nos résultats sont difficilement comparables à des populations non sportives, mais en tenant compte des dépenses énergétiques liées à l'exercice, nous pouvons dire que les apports énergétiques retrouvés dans notre étude sont plus bas qu'ils ne le devraient.

7.1.4) Prévalence des journées à faible disponibilité énergétique, avec la littérature

Au sujet de la prévalence des journées à faible disponibilité énergétique (LEA), qui sont délétères pour la santé et la performance chez l'athlète féminin : 32% des participantes sont à risques de LEA dans l'étude de Dasa et al. (2023). On retrouve des pourcentages moins élevés dans l'étude de Moss et al., (2021). Dont 23% de joueuses à risque de LEA, 62% à disponibilité énergétique réduite, et seulement 15% ont des valeurs optimales. Dans notre étude : 38% des journées sont sous le seuil de 30kcal/kg FMM/j (LEA). Selon les phases du cycle menstruel, les proportions de LEA sont différentes (37% des journées en PM, 44% en PF et 33% en PL). La prévalence global des journées LEA de notre étude semble en cohérence avec la littérature.

7.2) Hypothèse concernant les résultats

Les différences de valeurs entre les études ne proviennent pas uniquement des méthodes de mesures. Il est important de rappeler l'importance de l'aspect culturel de la nutrition selon les pays où ont été menées les études. Le niveau de sensibilisation aux apports énergétiques contribue certainement à ces différences. D'autre part, une étude (McHaffie et al., 2022) portant sur la « peur » des glucides, des objectifs de composition corporelle et des problèmes d'images corporelles, révèlent que plusieurs facteurs interfèrent dans les comportements alimentaires des joueuses de football élite. En effet, la pression exercée par les coachs, les mesures de composition corporelle, et le manque d'éducation des athlètes féminin sur l'impact réel de la nutrition, inciterait les athlètes à consommer moins de glucides que ce qui est recommandé pour performer. Les glucides représentent entre 50 et 60% des apports énergétiques totaux quotidien des sportifs et sportives de haut-niveau : ils ont naturellement un fort impact sur la quantité d'énergie disponible. Ce problème de la « peur des glucides » engendre une sous-alimentation, en dépit d'une dépense énergétique élevée, ce qui prouve que les « normes » liées à l'image corporelle notamment, représentent un facteur limitant important de la performance sportive féminine dans le football.

7.3) Limites de l'étude :

Il est objectivement difficile de mener une étude de terrain portant sur le cycle menstruel, et notamment sur l'impact de ses différentes phases sur la performance. Les critères d'inclusion et d'exclusion ont été respectés au maximum dans le but de correspondre à la problématique de l'étude. Si les résultats semblent être cohérent avec la littérature, portant d'une part sur la disponibilité énergétique, et d'autre part sur les apports énergétiques liés au cycle menstruel, la méthodologie ne permet pas de confirmer avec une précision de 100% la survenue des différentes phases au cours de chaque cycle menstruel. En effet, aucun dosage hormonal par prise de sang n'a pu être effectué. C'est pour cela que les critères d'inclusion et d'exclusion ont été respectés au maximum, dans le but de correspondre aux critères d'un cycle menstruel dit « normal ».

La mesure des apports alimentaires correspond aux standards utilisés dans la littérature scientifique, qui se base sur le remplissage d'un carnet alimentaire. Dans notre étude, l'utilisation de photos en priorité a permis de mesurer les apports alimentaires de manière plus précise, car effectué par un diététicien. Chaque photo était accompagnée de précision concernant les éléments non-visibles en photos (matières grasses...) ou d'aliments mangés entre les repas. Il s'agit d'une des méthodes permettant de limiter le plus les risques d'erreurs dans les calculs d'apports alimentaires. Malgré cela, il est possible que certains éléments aient été oublié par les joueuses sur certaines journées, mais il est impossible de le déterminer.

Les mesures de dépenses énergétiques effectuées par GPS catapult étaient la seule méthode de mesures (abordable et non-invasive) à pouvoir être utilisé sur le terrain lors de cette étude. Comme nous l'avons évoqué dans la partie discussion, les GPS comportent des limites concernant les dépenses énergétiques. Ils ne prennent pas en compte les efforts statiques, les variations métaboliques liées au cycle menstruel, les duels, et la thermogenèse post effort. De fait, les dépenses énergétiques liées à l'exercice sont potentiellement plus élevées.

Les mesures de composition corporelle (et donc la détermination de la masse maigre) dépendent également de la sensibilité du professionnel responsable des mesures, mais aussi de la formule de conversion des plis cutanés en % de masse grasse. La formule de Faulkner donne des valeurs de masse grasse certainement inférieur aux mesures de DEXA.

Cette même formule de Faulkner donne naturellement des valeurs de masse grasse inférieures à celle de Durnin et Womsley (la plus populaire, et utilisé pour mesurer la population standard), qui est plus souvent utilisée dans les études scientifiques. Ainsi, les données relatives aux disponibilités énergétiques pourraient être plus élevées avec l'utilisation d'une autre formule de conversion. Les valeurs de masse maigre obtenues lors de l'étude ne représentent pas nécessairement les valeurs réelles des joueuses participantes (comme le ferait un DEXA scan), bien qu'elles soient certainement proches.

Enfin, l'étude porte sur un échantillon de cycle menstruel relativement faible, dû à la perte successive de participante en raison des critères d'exclusion, mais aussi en raison d'un suivi limité à un, voir deux cycles par participante.

7.4) Application et perspectives

Cette étude, bien qu'exigeante, nous permet de mieux visualiser l'influence du cycle menstruel sur la disponibilité énergétique de joueuses de football de haut-niveau. Bien que les limites soient connues, cette étude a le mérite de pouvoir être appliqué avec peu de matériel, tout en générant des résultats exploitables. L'intérêt de ces travaux réside dans l'apport d'observations concrètes sur une thématique encore sous-exploitée. De plus, si une étude expérimentale avec des outils de grande qualité nous permet d'établir une vision plus fiable de cette expérience, ce genre de mesure peut être appliqué par les nutritionnistes rattachés aux différents clubs et/ou fédérations sportives, dans le but d'exploiter des données relatives à leurs propres joueuses.

Ces travaux donnent certaines perspectives d'applications futures, aussi bien dans l'affinement du protocole réalisée, que dans la projection de futures recherches. Il serait pertinent de réaliser des dosages sanguins, à la fois pour confirmer les fluctuations des hormones liées au cycle, que pour doser les hormones thyroïdiennes responsable de la régulation du métabolisme basale. L'estimation des hormones thyroïdiennes nous permettrait d'établir une cause directe des LEA sur l'organisme, nous pourrions ainsi observer l'impact de ces adaptations métaboliques sur la gestion du poids ou de la composition corporelle chez des joueuses élites.

Aujourd'hui, nos résultats sont d'une grande utilité au sein du club, et permettent de produire des supports adaptées à chaque joueuse selon leurs propres caractéristiques, à savoir la quantité énergétique nécessaire selon leurs besoins, et les options à adopter pour limiter les effets liés au cycle.

8) Conclusion

L'objectif de cette étude exploratoire était d'évaluer les variations de l'énergie disponible en fonction des phases du cycle menstruel chez des footballeuses professionnelles, et d'identifier d'éventuelles différences significatives entre les différentes phases. L'ensemble des résultats ne mettent en évidence aucune différence significative entre les phases, cependant, des valeurs de disponibilité énergétiques supérieures en phase lutéale sont observables, comparativement aux autres phases. Cela suggère que, dans ce contexte, l'énergie disponible reste relativement stable au fil du cycle en moyenne. L'augmentation des valeurs en phase lutéale peut-être être dû à une augmentation de l'appétit durant cette phase en raison de fluctuations hormonales. D'un point de vue générale, cela révèle que les valeurs sont relativement basses, voire assez éloignées des valeurs saines. Les évidences scientifiques démontrent que des expositions à court terme à de faibles disponibilités énergétiques perturbent l'homéostasie hormonale, démontrant ainsi que les joueuses sont loin d'optimiser la nutrition pour la performance. Il y a toutefois un écart possible entre la perception des joueuses et leurs comportements nutritionnels réels. Bien que certaines puissent déclarer s'alimenter correctement, les niveaux d'énergie disponible observés, suggèrent une méconnaissance ou une sous-estimation de leurs besoins. Ce décalage, pourrait constituer un levier pour des actions d'éducation nutritionnelle.

Ce mémoire contribue à enrichir une littérature émergente sur la disponibilité énergétique des athlètes féminines, et souligne la nécessité d'approches individualisées dans l'accompagnement nutritionnel des footballeuses. L'absence de différences apparentes et le faible échantillon de participantes, souligne l'intérêt de futures études à plus grande échelle, incluant des marqueurs biologiques et un suivi sur plusieurs cycles, pour enrichir et confirmer ces observations. Malgré tout, et au regard de la grande prévalence des journées à LEA, des sensibilisations aux besoins énergétiques selon les types de journées, et couplé aux phases du cycle menstruel, limiteront les conséquences d'une faible disponibilité énergétique chronique, pouvant aboutir potentiellement à des syndromes RED-S. À ce jour, les prévalences de LEA, bien que correspondant à la littérature, restent bien trop élevées pour espérer une performance optimale. Le rôle du nutritionniste ou diététicien est, entre autres, de sensibiliser les joueuses à ces phénomènes, et de fournir les clés pour atteindre leurs besoins. Il semblerait pertinent d'évaluer la relation entre leurs perceptions et leurs actions concernant la nutrition, et de croiser ces données avec des marqueurs ou symptômes du syndrome RED-S, dans le but d'identifier précocement des déséquilibres énergétiques relativement prolongés. Cette projection pourrait s'effectuer en lien le cycle menstruel, afin de mieux cerner les causes des potentielles irrégularités.

Bibliographie

Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett DR Jr, Tudor-Locke C, Greer JL, Vezina J, Whitt-Glover MC, Leon AS. (2011). Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Med Sci Sports Exerc* ;**43**(8):1575-81. DOI: [10.1249/MSS.0b013e31821ece12](https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821ece12)

Areta, J. L., Burke, L. M., Camera, D. M., West, D. W., Crawshay, S., Moore, D. R., Stellingwerff, T., Phillips, S. M., Hawley, J. A., & Coffey, V. G. (2014). Reduced resting skeletal muscle protein synthesis is rescued by resistance exercise and protein ingestion following short-term energy deficit. *American journal of physiology. Endocrinology and metabolism*, **306**(8), E989–E997. DOI: [10.1152/ajpendo.00590.2013](https://doi.org/10.1152/ajpendo.00590.2013)

Areta, J.L., Taylor, H.L. & Koehler, K. (2021). 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* **121**, 1–21. DOI: [10.1007/s00421-020-04516-0](https://doi.org/10.1007/s00421-020-04516-0)

Auchatraire A. 2000. Stérilités féminines d'origine hormonale : Place des inducteurs de l'ovulation dans la stimulation monofolliculaire. Thèse de doctorat. Faculté de pharmacie, Université de Limoges. P18.

Benton MJ, Hutchins AM, Dawes JJ. (2020). Effect of menstrual cycle on resting metabolism: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 13;**15**(7):e0236025. DOI: [10.1371/journal.pone.0236025](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236025)

Butera PC. (2010). Estradiol and the control of food intake. *Physiol Behav* ;**99**(2):175-180. DOI: [10.1016/j.physbeh.2009.06.010](https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2009.06.010)

Dasa, M. S., Friborg, O., Kristoffersen, M., Pettersen, G., Plasqui, G., Sundgot-Borgen, J. K., & Rosenvinge, J. H. (2023). Energy expenditure, dietary intake and energy availability in female professional football players. *BMJ open sport & exercise medicine*, **9**(1), e001553. DOI: [10.1136/bmjsem-2023-001553](https://doi.org/10.1136/bmjsem-2023-001553)

Dalvit SP. (1981). The effect of the menstrual cycle on patterns of food intake. *Am J Clin Nutr.* **34**(9):1811-1815. DOI: [10.1093/ajcn/34.9.1811](https://doi.org/10.1093/ajcn/34.9.1811)

Gil YRC, Fagundes RLM, Santos E, Calvo MCM, Bernardine JD. Relation of menstrual cycle and alimentary consumption of women. *E-SPEN, the European e-Journal of Clinical Nutrition and Metabolism.* 2009;**4**(5): E257-E260. [10.1016/j.eclnm.2009.08.002](https://doi.org/10.1016/j.eclnm.2009.08.002) :

Igonin PH. (2023). Impact du Cycle Menstruel sur la Performance Physique dans le Football Féminin. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard - Lyon I, Français, p54.

Johnson WG, Corrigan SA, Lemmon CR, Bergeron KB, Crusco AH. Energy regulation over the menstrual cycle. *Physiol Behav.* 1994 Sep;**56**(3):523-7. doi: [10.1016/0031-9384\(94\)90296-8](https://doi.org/10.1016/0031-9384(94)90296-8).

Kammoun I, Ben Saada W, Sifaou A, et al. Changement des habitudes alimentaires des femmes pendant le cycle menstruel. (2017). *Ann Endocrinol (Paris)* ;**78**(1):33-37. DOI: [10.1016/j.ando.2016.07.001](https://doi.org/10.1016/j.ando.2016.07.001)

Kasper, Andreas M., Carl Langan-Evans, James F. Hudson, Thomas E. Brownlee, Liam D. Harper, Robert J. Naughton, James P. Morton, and Graeme L. Close. (2021). Come Back Skinfolds, All Is Forgiven: A Narrative Review of the Efficacy of Common Body Composition Methods in Applied Sports Practice. *Nutrients* 13, no. 4: **1075**. <https://doi.org/10.3390/nu13041075>

Li ET, Tsang LB, Lui SS. Menstrual cycle and voluntary food intake in young Chinese women. *Appetite.* 1999 Aug;**33**(1):109-18. doi: [10.1006/appe.1999.0235](https://doi.org/10.1006/appe.1999.0235).

Loucks AB, Heath EM. Induction of low-T3 syndrome in exercising women occurs at a threshold of energy availability. *Am J Physiol.* 1994 Mar;**266**(3 Pt 2):R817-23. doi: [10.1152/ajpregu.1994.266.3.R817](https://doi.org/10.1152/ajpregu.1994.266.3.R817)

Loucks, A. B., Verdun, M., & Heath, E. M. (1998). Low energy availability, not stress of exercise, alters LH pulsatility in exercising women. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, **84**(1), 37–46. DOI: [10.1152/jappl.1998.84.1.37](https://doi.org/10.1152/jappl.1998.84.1.37)

Loucks, A. B., & Thuma, J. R. (2003). Luteinizing hormone pulsatility is disrupted at a threshold of energy availability in regularly menstruating women. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, **88**(1), 297–311. DOI: [10.1210/jc.2002-020369](https://doi.org/10.1210/jc.2002-020369)

Loucks, A. B. (2004). Energy balance and body composition in sports and exercise. *Journal of Sports Sciences*, **22**(1), 1–14. DOI: [10.1080/0264041031000140518](https://doi.org/10.1080/0264041031000140518)

Macuh, M.; Levec, J.; Kojić, N.; Knap, B. Dietary Intake, Body Composition and Performance of Professional Football Athletes in Slovenia. *Nutrients* 2023, *15*, **82**. <https://doi.org/10.3390/nu15010082>

Matsuda, Tomoka^{1,2}; Takahashi, Hideyuki³; Nakamura, Mariko⁴; Ogata, Hazuki⁵; Kanno, Moe¹; Ishikawa, Akira¹; Sakamaki-Sunaga, Mikako⁵. (2023). Influence of the Menstrual Cycle on Muscle Glycogen Repletion After Exhaustive Exercise in Eumenorrheic Women. *Journal of Strength and Conditioning Research* **37**(4):p e273-e279. DOI: [10.1519/JSC.0000000000004306](https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004306)

McHaffie SJ, Langan-Evans C, Morehen JC, Strauss JA, Areta JL, Rosimus C, Evans M, Elliott-Sale KJ, Cronin CJ, Morton JP. Carbohydrate fear, skinfold targets and body image issues: a qualitative analysis of player and stakeholder perceptions of the nutrition culture within elite female soccer. *Sci Med Footb*. 2022 Dec 1;**6**(5):675-685. doi: 10.1080/24733938.2022.2101143

McIntosh, J. E., Matthews, C. D., Crocker, J. M., Broom, T. J., & Cox, L. W. (1980). Predicting the luteinizing hormone surge: relationship between the duration of the follicular and luteal phases and the length of the human menstrual cycle. *Fertility and sterility*, **34**(2), 125–130. DOI: [10.1016/s0015-0282\(16\)44894-6](https://doi.org/10.1016/s0015-0282(16)44894-6)

Michaela MR, Katherine EB. 2023. Dietary energy intake across the menstrual cycle: a narrative review, *Nutrition Reviews*, Volume 81, Issue 7, Pages 869–886. DOI: [10.1093/nutrit/nuac094](https://doi.org/10.1093/nutrit/nuac094)

Minetti AE, Moia C, Roi GS, Susta D, Ferretti G. Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes. *J Appl Physiol* (1985). 2002 Sep;**93**(3):1039-46. doi: 10.1152/japplphysiol.01177.2001.

Moniz SC, McCarthy SF, Broad AA, Medeiros PJ, Hazell TJ. (2023). The exercise-induced suppression of acylated ghrelin is blunted in the luteal phase of the menstrual cycle compared to the follicular phase following vigorous-intensity exercise. *Appetite* ;**182**:106425. DOI: [10.1016/j.appet.2022.106425](https://doi.org/10.1016/j.appet.2022.106425)

Moss SL, Randell RK, Burgess D, Ridley S, ÓCairealláin C, Allison R, Rollo I. Assessment of energy availability and associated risk factors in professional female soccer players. *Eur J Sport Sci*. 2021 Jun;**21**(6):861-870. doi: [10.1080/17461391.2020.1788647](https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1788647)

Mountjoy, M., Sundgot-Borgen, J. K., Burke, L. M., Ackerman, K. E., Blauwet, C., Constantini, N., Lebrun, C., Lundy, B., Melin, A. K., Meyer, N. L., Sherman, R. T., Tenforde, A. S., Klungland Torstveit, M., & Budgett, R. (2018). IOC consensus statement on relative energy deficiency in sport (RED-S): 2018 update. *British journal of sports medicine*, **52**(11), 687–697. DOI: [10.1136/bjsports-2018-099193](https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099193)

Mountjoy, M., Ackerman, K. E., Bailey, D. M., Burke, L. M., Constantini, N., Hackney, A. C., Heikura, I. A., Melin, A., Pensgaard, A. M., Stellingwerff, T., Sundgot-Borgen, J. K., Torstveit, M. K., Jacobsen, A. U., Verhagen, E., Budgett, R., Engebretsen, L., & Erdener, U. (2023). International Olympic Committee's (IOC) consensus statement on Relative Energy Deficiency in Sport (REDs). *British journal of sports medicine*, **57**(17), 1073–1097. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-106994>

Osgnach C, Poser S, Bernardini R, Rinaldo R, di Prampero PE. Energy cost and metabolic power in elite soccer: a new match analysis approach. *Med Sci Sports Exerc*. 2010 Jan;**42**(1):170-8. doi: [10.1249/MSS.0b013e3181ae5cfd](https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181ae5cfd).

Reed BG, Carr BR. The Normal Menstrual Cycle and the Control of Ovulation. 2018 Aug 5. In: Feingold KR, Ahmed SF, Anawalt B, Blackman MR, Boyce A, Chrousos G, Corpas E, de Herder WW, Dhatariya K, Dungan K, Hofland J, Kalra S, Kaltsas G, Kapoor N, Koch C, Kopp P, Korbonits M, Kovacs CS, Kuohung W, Laferrère B, Levy M, McGee EA, McLachlan R, Muzumdar R, Purnell J, Rey R, Sahay R, Shah AS, Singer F, Sperling MA, Stratakis CA, Trencle DL, Wilson DP, editors. Endotext [Internet]. South Dartmouth (MA): MDText.com, Inc.; 2000—. PMID: 25905282.

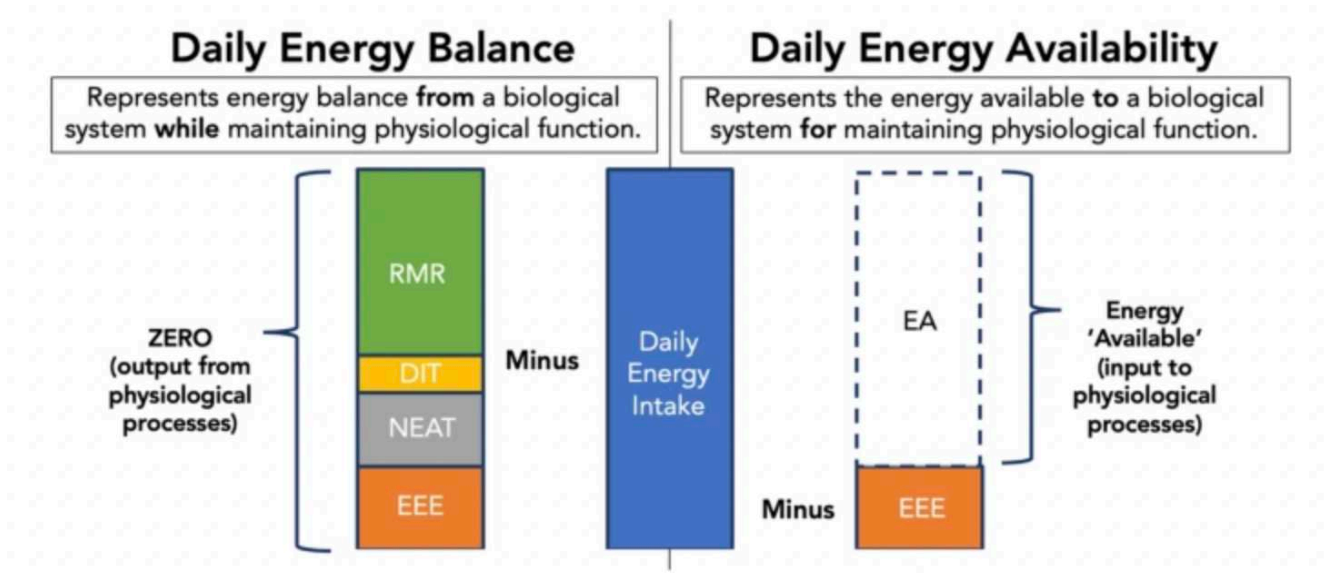
Souza LB, Martins KA, Cordeiro MM, Rodrigues YS, Rafacho BPM, Bomfim RA. Do Food Intake and Food Cravings Change during the Menstrual Cycle of Young Women? *Rev Bras Ginecol Obstet*. 2018 Nov;**40**(11):686-692. doi: 10.1055/s-0038-1675831. Epub 2018 Nov 28.

Tucker A.L, McCarthy, Bornath F.D, Khoja J.S, Hazell T.J. (2024). The Effect of the Menstrual Cycle on Energy Intake: A Systematic Review and Meta-analysis, *Nutrition Reviews*. DOI: [10.1093/nutrit/nuae093](https://doi.org/10.1093/nutrit/nuae093)

Vaquero-Cristóbal R, Albaladejo-Saura M, Luna-Badachi AE, Esparza-Ros F. (2020). Differences in Fat Mass Estimation Formulas in Physically Active Adult Population and Relationship with Sums of Skinfolds. *Int J Environ Res Public Health*. **17**(21):7777. DOI: [10.3390/ijerph17217777](https://doi.org/10.3390/ijerph17217777)

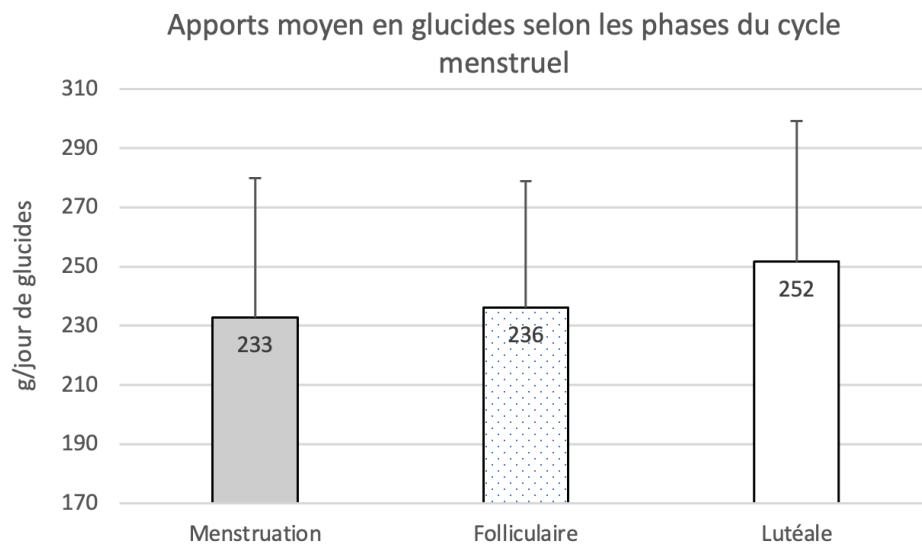
Vicki J. Harber. 2004. Energy Balance and Reproductive Function in Active Women. *Canadian Journal of Applied Physiology*. **29**(1): 48-58. DOI: 10.1139/h04-005.

ANNEXE 1 : Distinction entre les dépenses énergétiques liées à l'exercice et les dépenses énergétiques totales



Source : Areta et al. (2020)

ANNEXE 2: Résultats des apports en glucides selon les phases du cycle menstruel



Représentation graphique des apports moyens en glucides selon les différentes phases du cycle menstruel.

Statistiques descriptives

	Menstruation	Folliculaire	Lutéale
N	11	11	11
Moyenne	233	236	252
Ecart-type	47.1	42.7	47.4
W de Shapiro-Wilk	0.965	0.933	0.896
Valeur p de Shapiro-Wilk	0.833	0.443	0.167

Statistiques descriptives des apports en glucides selon les différentes phases du cycle menstruel

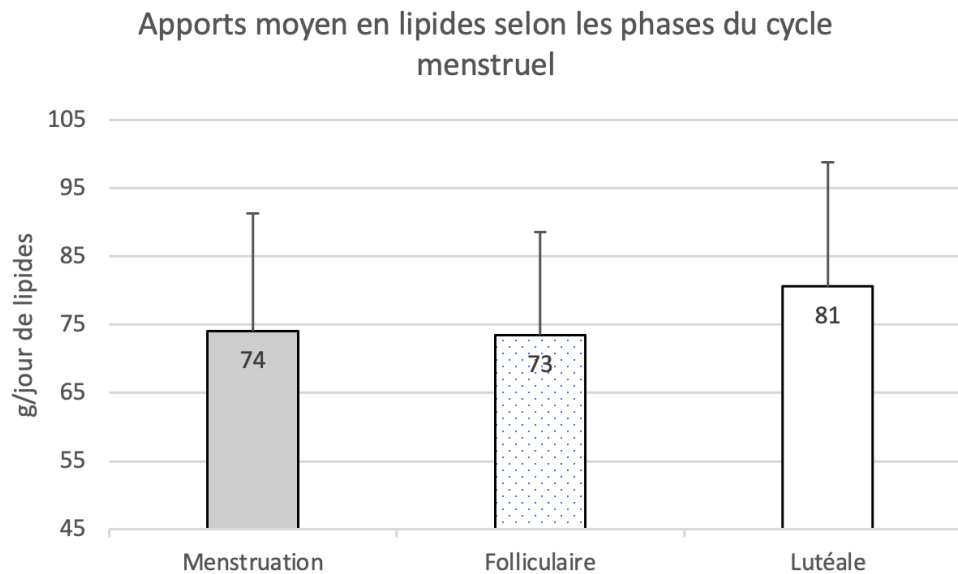
Effets intra-sujets

	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p
Mesures répétées - facteur 1	2239	2	1119	0.630	0.543
Résidu	35516	20	1776		

Note. Somme des carrés de type 3

Résultats de l'ANOVA à mesures répétées des apports en glucides selon les phases du cycle menstruel.

ANNEXE 3: Résultats des apports en lipides selon les phases du cycle menstruel



Représentation graphique des apports moyens en lipides selon les différentes phases du cycle menstruel

Statistiques descriptives

	Menstruation	Folliculaire	Lutéale
N	11	11	11
Moyenne	74.0	73.5	80.6
Ecart-type	17.3	15.1	18.2
W de Shapiro-Wilk	0.923	0.925	0.925
Valeur p de Shapiro-Wilk	0.344	0.366	0.363

Statistiques descriptives des apports en lipides selon les différentes phases du cycle menstruel

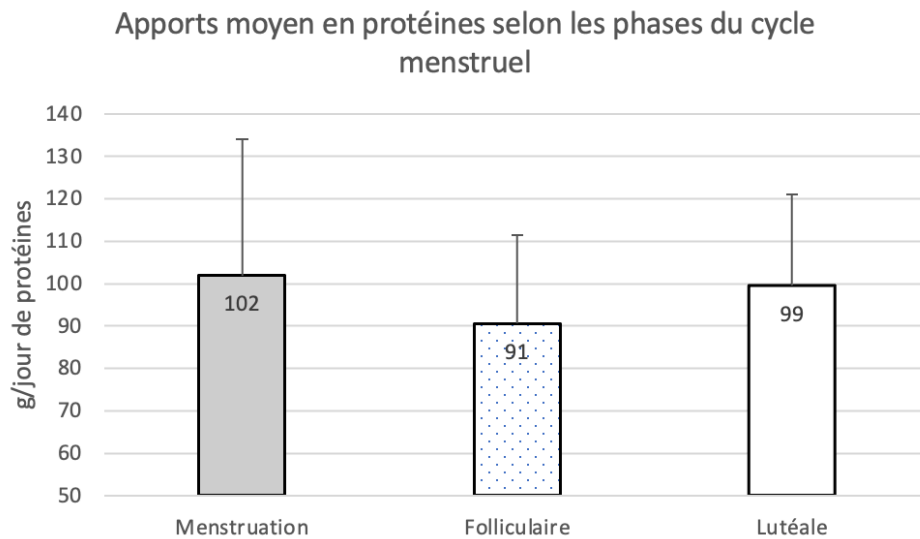
Effets intra-sujets

	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p
Mesures répétées - facteur 1	352	2	175.8	2.40	0.116
Résidu	1464	20	73.2		

Note. Somme des carrés de type 3

Résultats de l'ANOVA à mesures répétées des apports en lipides selon les phases du cycle menstruel.

ANNEXE 4 : Résultats des apports en protéines selon les phases du cycle menstruel



Représentation graphique des apports moyens en protéines selon les différentes phases du cycle menstruel

Statistiques descriptives

	Menstruation	Folliculaire	Lutéale
N	11	11	11
Moyenne	102	90.5	99.5
Ecart-type	32.1	20.9	21.6
W de Shapiro-Wilk	0.818	0.876	0.957
Valeur p de Shapiro-Wilk	0.016	0.091	0.730

Statistiques descriptives des apports en protéines selon les différentes phases du cycle menstruel

Différences	Valeurs	
Sér.1-Sér.2 = 6,00	valeur = 11,23	Les différences supérieures ou égales à 'valeur' sont significatives au seuil choisi
Sér.1-Sér.3 = 0,00	valeur = 11,23	
Sér.2-Sér.3 = 6,00	valeur = 11,23	

Résultats de l'ANOVA à mesures répétées des apports en protéines selon les phases du cycle menstruel

Résumé :

Cette étude de mémoire s'intéresse à l'influence des différentes phases du cycle menstruel sur la disponibilité énergétique (EA) de joueuses de football professionnel. L'objectif est d'identifier si certaines phases du cycle menstruel engendrent un risque plus important de faible disponibilité énergétique (LEA). La disponibilité énergétique se calcule via une formule spécifique ($EA = (EI - EEE) / FFM$) comprenant apports énergétiques (EI), dépenses énergétiques liées à l'exercice (EEE) et masse maigre (FFM). Au total 11 cycles menstruels complets ($n=11$) de longueurs variables ($26,7 \pm 2,9$ j) ont été recensés pour l'étude, soit 11 phases menstruation, folliculaire et lutéale, pour un total de 86 journées. Les résultats des phases menstruations ($34,3 \pm 7,2$ kcal/kg FMM/j), folliculaires ($34,1 \pm 7,2$ kcal/kg FMM/j) et lutéales ($35,8 \pm 9,0$ kcal/kg FMM/j) ont été comparées, dans le but de déterminer si des différences statistiques existent entre les différentes phases. Les résultats n'indiquent aucune différence significative ($p=0,648$) entre les disponibilités énergétiques des différentes phases du cycle menstruel. Une faible taille d'effet (Effect Size = 0,21) existe entre les phases lutéales (PL) et folliculaires (PF). La prévalence de LEA est plus élevée en phase folliculaire (44%) qu'en phase menstruation (37%) et lutéale (33%), ce qui nous indique qu'une prise en compte du cycle menstruel dans la prise en charge nutritionnelle est pertinente. Une sensibilisation doit être effectuée auprès des joueuses, dans le but de limiter la prévalence des journées à risque de LEA, tout en prenant en compte le cycle menstruel. Davantage d'études sur ce sujet doivent être réalisées, avec un matériel permettant de confirmer les variations hormonales, ainsi qu'une méthode plus précise pour estimer les dépenses énergétiques à l'exercice. De plus, des études portant sur un échantillon plus large, permettront d'établir avec plus de précision, s'il y a une différence entre les phases du cycle menstruel.

Mots-clés : Disponibilité énergétique, cycle menstruel, football féminin, nutrition du sport, RED-S

Abstract :

This study explores the influence of the different phases of the menstrual cycle on energy availability (EA) in professional female football players. The aim is to determine whether certain phases of the menstrual cycle carry a higher risk of low energy availability (LEA). Energy availability is calculated using a specific formula ($EA = (EI - EEE) / FFM$), including energy intake (EI), exercise energy expenditure (EEE), and fat-free mass (FFM). A total of 11 complete menstrual cycles ($n=11$) of varying lengths ($26,7 \pm 2,9$ days) were recorded for the study, covering 11 menstruation, follicular, and luteal phases, for a total of 86 days. Results from the menstruation ($34,3 \pm 7,2$ kcal/kg FFM/day), follicular ($34,1 \pm 7,2$ kcal/kg FFM/day), and luteal ($35,8 \pm 9,0$ kcal/kg FFM/day) phases were compared to determine whether statistically significant differences exist between phases. The findings show no significant results ($p=0,648$) in energy availability between the different phases of the menstrual cycle. A small effect size (Effect Size = 0,21) was observed between the luteal (LP) and follicular (FP) phases. The prevalence of LEA was higher during the follicular phase (44%) compared to the menstruation (37%) and luteal (33%) phases, suggesting that considering the menstrual cycle in nutritional management is relevant. Awareness should be raised among players to help reduce the number of LEA-risk days while taking the menstrual cycle into account. More research on this topic is needed, with tools capable of confirming hormonal variations, as well as more precise methods for estimating exercise energy expenditure. Additionally, studies on larger samples are required to more accurately determine whether differences exist between menstrual cycle phases.

Keywords : Energy availability, menstrual cycle, women's football, sport nutrition, RED-S

Compétences acquises :

La réalisation de ce mémoire m'a permis de développer des compétences concrètes, directement transposables à ma pratique de terrain en tant que professionnel de la nutrition :

1- Mobiliser et produire des savoirs hautement spécialisés :

De par l'originalité du sujet proposé et le peu de référence scientifique spécifique à cette thématique, j'ai pu produire un travail spécialisé, concret et reproductible sur le terrain. Cela m'a demandé de mobiliser des connaissances avancées en physiologie et en nutrition, et de conduire ce projet avec une certaine rigueur. Le déroulement du protocole a été organisé dans le but de produire les données les plus fiables possibles, dans le but de générer des résultats représentatifs d'un contexte d'étude appliquée au terrain.

2- Évaluer et analyser la pratique et les performances sportives de haut-niveau :

La récolte, l'analyse et l'interprétation des résultats exigent des connaissances spécifiques, et une capacité à pouvoir les retranscrire lors d'applications pratiques. Les méthodes employées pour évaluer les données sont complexes, mais ont été menées de sorte que les résultats puissent être évalués aussi fidèlement que possible par rapport aux réalités physiologiques. L'analyse de ces données exige également une compréhension fine des mécanismes sous-jacents, afin d'en faire une interprétation la plus juste possible, ce que je pense avoir acquis au fur et à mesure de l'avancée de mes travaux.

3- Concevoir et optimiser des stratégies pour la performance

Les données sont d'ores et déjà utilisées dans le but de produire des vidéos récapitulatives et explicatives des résultats pour chacune des joueuses ayant participé au protocole. L'objectif de ces actions est de vulgariser les données, tout en offrant des clés et des options aux joueuses pour optimiser leur approche de la nutrition dans leur pratique.

