

Ecole doctorale Environnements-Santé
Dossier de projet de thèse « Contrat doctoral Etablissements »
ANNEE 2023

TITRE DU PROJET : La Performance sportive au féminin : spécificité de la réponse physiologique à l'exercice et en récupération aiguë.

(Une fois votre projet accepté, si vous faites une mise en ligne par vos propres moyens, merci de ne pas changer ce titre ou le simplifier. Lors de la mise en ligne faite par l'ED, le titre ci-dessus est utilisé. Si vous en changez, cela entraîne un doublon de projet)

Ce projet est aussi proposé au titre de la bourse générale FRM ☐ oui¹ x non
Ce projet est aussi proposé au titre de la bourse Cardiologie FRM ☐ oui² x non

1) Renseignements administratifs sur la direction de thèse³ (1 page maximum) :

Directeur de thèse HDR :

Nom : Ravier

Prénom : Gilles

Section CNU : 74

Grade : MCF

HDR : Date de soutenance 04 avril 2022 Discipline : STAPS

Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) : UFR STAPS, laboratoire C3S, 31 rue de l'Épitaphe 25000 Besançon, gilles.ravier@univ-fcomte.fr, Tel : +33 6 78 14 25 37

Unité d'appartenance (intitulé, label, n°, directeur) : Laboratoire Culture Sport Santé Société (C3S), unité de recherche 4660, directeur : Pr. Christian Vivier.

Co-directeur de thèse éventuel :

Nom :

Prénom :

Grade :

HDR : non ☐ ; oui ☐ Date de soutenance..... Discipline :

Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) :

Unité d'appartenance (intitulé, label, n°, directeur) :

¹ Le candidat doit être connu au moment du dépôt du projet, et son CV doit être joint à la présente demande. Le CV du candidat sera l'un des critères de sélection.

² Le candidat doit être connu au moment du dépôt du projet, et son CV doit être joint à la présente demande. Le CV du candidat sera l'un des critères de sélection.

³ ATTENTION : depuis le texte de loi de mai 2016, le total d'encadrants ne peut pas dépasser 2, sauf si l'un des encadrants appartient au monde économique, qui peut venir en supplément, ou en cas de co-tutelle; Le décompte des co-encadrements se fera au prorata du nombre d'encadrants : 1 pour 1 encadrant, ½ pour deux encadrants.

2) Descriptif du projet de thèse (devra inclure les rubriques suivantes) :

- nom et label de l'unité de recherche (ainsi que l'équipe interne s'il y a lieu)

Université de Franche-Comté,
Laboratoire Culture Sport Santé Société (C3S - UR 4660),
Equipe Sport-Performance
31 rue de l'Epitaphe,
25000 Besançon

- localisation

Laboratoire C3S, 31 rue de l'Epitaphe, 25000 Besançon
Plateforme commune Locomotion Athlète Matériel Environnement (LAME, laboratoire C3S-
Groupama-FDJ), 56 chemin des Montarmots, 25000 Besançon

- nom du directeur de thèse et du co-directeur s'il y a lieu

Gilles RAVIER (Directeur)

- adresse courriel du contact scientifique

gilles.ravier@univ-fcomte.fr

- titre du projet : **La Performance sportive au féminin : spécificité de la réponse physiologique à l'exercice et en récupération aiguë.**

- description du projet (2 pages maximum)

La participation des athlètes féminines aux Jeux olympiques était de 45% en 2016 à Rio et atteindra la parité pour la première fois, à Paris, en 2024 (International Olympic Committee, 2021). La recherche en sciences du sport et de l'exercice présente une réelle disparité concernant la population expérimentale qui demeure très largement masculine. L'analyse récente des six journaux majeurs* de médecine du sport et de l'exercice sur la période 2014-2020 montrait que 63% des publications incluaient des hommes et des femmes (échantillons mixtes ou séparés). Toutefois, seulement 6% n'incluaient que des femmes (Cowley et al., 2021). Ces dernières décennies, les connaissances liées aux mécanismes explicatifs des altérations et des adaptations à l'exercice et à la récupération ont largement évolué. Elles permettent d'optimiser les stratégies d'entraînement et d'adapter les procédés de récupération chez les athlètes de niveau élite comme les pratiquants de loisir sportif. Toutefois, l'impact des différences sexuelles sur les réponses physiologiques à l'exercice, les adaptations à l'entraînement et à la récupération sont sous étudiés dans la littérature. Cette sous-représentation des femmes limite la compréhension de la spécificité des athlètes féminines et des différences intersexes à l'exercice. La plupart des conclusions extraites de la recherche en sciences du sport et de l'exercice pourrait n'être applicable qu'aux athlètes masculins (Cowley et al., 2021). Une revue de littérature récente portant sur l'impact du cycle menstruel (CM) sur la performance physique (Carmichael et al., 2021) rapporte que les athlètes féminines perçoivent, de manière systématique, une altération de leurs performances sportives au début de la phase folliculaire et à la fin de phase lutéale. Le syndrome prémenstruel inclut des symptômes physiques (douleurs et crampes), des troubles de l'humeur et une moindre motivation à s'entraîner plus ou moins prononcés (Brown et al., 2021). Les entretiens réalisés avec les athlètes féminines soulignent la difficulté d'échanger sur ce sujet avec les entraîneurs sportifs et entre athlètes (Brown et

al., 2021). Accroître les connaissances et la compréhension de la relation entre les phases du CM et la performance répond à un enjeu sociétal important, celui de la santé et de l'évolution des représentations des entraîneurs sur la spécificité de l'athlète féminine. Par ailleurs, une meilleure compréhension de la réponse psychophysologique à l'exercice et à la récupération post-exercice est d'un intérêt majeur dans la perspective d'optimiser la performance sportive (notamment en individualisant les stratégies d'entraînement), de prévenir le risque de blessures et de surmenage non fonctionnel.

La prise en considération de l'effet du CM (phase folliculaire précoce, tardive, phase ovulatoire, phase lutéale précoce, moyenne et tardive) sur les performances sportives est très récente dans la littérature des sciences du sport et de l'exercice (Meignié et al., 2021). Seulement 1% des études s'intéressant à la performance sportive chez l'athlète féminine de niveau élite a pris en compte au moins une phase du CM (majoritairement la phase folliculaire). Trente-cinq études ont analysé l'impact de deux ou trois phases (phase lutéale moyenne, phase folliculaire précoce et ovulatoire) sur la consommation d'oxygène à l'exercice, la contraction maximale volontaire isométrique ou la performance chronométrique d'épreuve sportive (Carmichael et al., 2021). La relation entre les phases du CM et les paramètres psycho-physiologiques (neuromusculaires, saturation musculaire en oxygène, cardiorespiratoires, système nerveux autonome) déterminants de la performance sportive chez l'athlète très entraînée, n'a pas fait l'objet d'étude à ce jour (McNulty et al., 2020). La liste des différents paramètres de la performance pouvant potentiellement être affectés par les variations d'œstrogène et de progestérone au cours du CM (fonction cardiorespiratoire, thermorégulation, raideur musculo-tendineuse) a été établie sur la base des données recueillies chez la femme sédentaire et/ou peu entraînée en situation de repos et/ou lors d'exercices continus prolongés ou progressifs maximaux (Constantini et al., 2005). Bien que les exercices basés sur la répétition de sprints à très haute intensité soient considérés aujourd'hui comme des moyens efficaces d'amélioration de la performance de l'athlète féminine dans de nombreux sports, ils n'ont fait l'objet que d'un nombre très limité d'études (Carmichael et al., 2021).

La différence de fatigabilité selon le sexe a été étudiée principalement pour des tâches de contractions isométriques avec une moindre fatigue chez les femmes (Hunter, 2016). Concernant l'étude des mouvements dynamiques, les résultats diffèrent selon les caractéristiques de la tâche fatigante étudiée (groupe musculaire impliqué, régime de contraction, vitesse et intensité de la contraction musculaire). Le nombre d'études portant sur la fatigabilité en situation d'exercices sportifs demeure limité. En situation de répétitions de sprints (course à pied et de pédalage), les auteurs ont montré une plus faible diminution des performances et une moindre altération de l'activité électromyographique chez les femmes comparées aux hommes (Billaut & Bishop, 2012). Les différences de fatigabilité liées au sexe étaient expliquées par des spécificités de la commande nerveuse et du métabolisme énergétique (Tarnopolsky, 2008). Parmi les épreuves de course à pied, le trail est devenu très populaire ces dernières décennies avec un nombre de pratiquants des deux sexes qui a évolué de manière exponentielle. La pratique compétitive est l'une des rares à se dérouler en condition mixte. La différence de performance chronométrique observée entre les deux populations est communément expliquée par les différences anatomiques et biologiques. En réponse à un trail de 16 km, nous avons pu montrer que le niveau de fatigabilité de la fonction neuromusculaire (contraction maximale volontaire, activité électromyographique, contrôle moteur) ne présentait pas de différence selon le sexe (Ravier et al., 2023). Ce résultat avait déjà été rapporté après 30 min de course sur tapis roulant décliné (pente - 20%) (Martin et al., 2004). Toutefois, la fatigue neuromusculaire en réponse à une course de longue distance (110 km) était plus marquée chez les hommes que chez les femmes (Temesi et al., 2015) ; les femmes présentaient une plus faible fatigue périphérique au niveau des muscles de la cheville alors que le niveau de fatigue centrale était similaire entre les sexes.

Plus globalement, les femmes semblent moins fatigables que les hommes en situation d'efforts sportifs prolongés (Millet, 2011). Parmi les nombreux facteurs explicatifs, une différence sexuée de perception de la fatigue, de motivation à l'effort et de stratégie de gestion d'effort est suggérée.

L'immersion en eau douce est un procédé de récupération post-exercice largement utilisé et reconnu comme modalité simple et efficace de restauration de l'homéostasie cardiovasculaire. Des recommandations pratiques basées sur les caractéristiques individuelles des athlètes et les protocoles d'immersion (température, durée, type) ont été proposées dans le milieu sportif. Les bénéfices de l'immersion froide durant la phase aiguë de récupération sont généralement attribués aux effets sur la vasoconstriction, la réduction de la réponse inflammatoire et la diminution de la perception d'effort comme des douleurs musculaires (Broatch et al., 2018). A l'arrêt d'un exercice physique, la restauration de la balance sympatho-vagale est largement étudiée dans la littérature des sciences du sport comme indicateur physiologique du statut de récupération globale. Les études ayant comparé les effets des protocoles d'immersion (i.e., contrasté, froid et thermo neutre) sur la variabilité de fréquence cardiaque ont montré un effet positif plus marqué des protocoles d'eau froide (Almeida et al., 2016). Toutefois, à ce jour, très peu d'études se sont intéressées à l'effet du protocole d'immersion sur la modulation de la variabilité de fréquence cardiaque chez les athlètes féminines. Nos travaux, menés chez les athlètes féminines de niveau élite, ont montré que l'immersion en eau froide était plus efficace que les protocoles contrastés pour réactiver l'activité parasympathique en récupération post-exercice (Ravier et al., 2022). Si, en situation de repos, il a été montré que les phases folliculaire et lutéale impactaient la balance sympatho-vagale (Bai et al., 2009), il n'existe à ce jour que peu d'informations concernant l'impact des modifications physiologiques (hormonales, température corporelle) au cours du CM en récupération post-exercice. De plus, il paraît important de poursuivre nos travaux afin de préciser dans quelle mesure les phases du CM impactent la réponse de variabilité de fréquence cardiaque au cours des protocoles d'immersion. Nous faisons l'hypothèse que les modifications physiologiques liées au CM sont des facteurs individuels à intégrer dans la stratégie de récupération chez l'athlète féminine.

La littérature en sciences du sport et de l'exercice souligne le besoin de s'engager dans une démarche d'analyse permettant une meilleure compréhension des similarités et des différences entre hommes et femmes. L'objectif est d'accroître les connaissances des différences liées au sexe dans un souci d'optimiser les stratégies d'amélioration de performance, de récupération et de prévention des blessures. Trois objectifs sont envisagés pour ce projet de thèse : 1) étudier l'impact d'au moins quatre phases du CM sur la puissance mécanique développée, l'activité neuromusculaire et la réponse physiologique pré-, per- et post-exercice lors de répétitions de sprints ; 2) étudier l'impact d'au moins deux phases du CM sur le bénéfice de la récupération par immersion à partir de la variabilité de fréquence cardiaque; 3) rendre compte des différences entre femme et homme en étudiant l'interaction entre la fatigabilité neuromusculaire et la stratégie de gestion d'effort en situation d'exercice prolongé.

* Medicine and Science in Sports and Exercise; British Journal of Sports Medicine; American Journal of Sports Medicine; European Journal of Sports Science; Journal of Sport Science & Medicine; The Journal of Physiology

Bibliographie :

Almeida, A. C., Machado, A. F., Albuquerque, M. C., Netto, L. M., Vanderlei, F. M., Vanderlei, L. C. M., Junior, J. N., & Pastre, C. M. (2016). The effects of cold water immersion with different dosages (duration and temperature variations) on heart rate variability post-exercise recovery: A randomized controlled trial. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(8)

Bai, X., Li, J., Zhou, L., & Li, X. (2009). Influence of the menstrual cycle on nonlinear properties of heart rate variability in young women. *American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology*, 297(2), Article 2.

Billaut, F., & Bishop, D. J. (2012). Mechanical work accounts for sex differences in fatigue during repeated sprints. *European Journal of Applied Physiology*, 112(4), 1429–1436.

Broatch, J. R., Petersen, A., & Bishop, D. J. (2018). The Influence of Post-Exercise Cold-Water Immersion on Adaptive Responses to Exercise: A Review of the Literature. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(6)

Brown, N., Knight, C. J., & Forrest (née Whyte), L. J. (2021). Elite female athletes' experiences and perceptions of the menstrual cycle on training and sport performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 31(1), 52–69.

Carmichael, M. A., Thomson, R. L., Moran, L. J., & Wycherley, T. P. (2021). The Impact of Menstrual Cycle Phase on Athletes' Performance: A Narrative Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4)

Constantini, N. W., Dubnov, G., & Lebrun, C. M. (2005). The menstrual cycle and sport performance. *Clinics in Sports Medicine*, 24(2), e51-82, xiii–xiv.

Cowley, E. S., Olenick, A. A., McNulty, K. L., & Ross, E. Z. (2021). "Invisible Sportswomen": The Sex Data Gap in Sport and Exercise Science Research. *Women in Sport and Physical Activity Journal*, 29(2), 146–151.

Hunter, S. K. (2016). The Relevance of Sex Differences in Performance Fatigability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(11), 2247–2256.

International Olympic Committee. (2021). *Factsheet: Women in the Olympic Movement*. Available at: https://stillmed.olympic.org/media/Document%20Library/OlympicOrg/Factsheets-Reference-Documents/Women-in-the_Olympic-Movement/Factsheet-Women-in-the-Olympic-Movement.pdf#_ga=2.210295196.807415346.1604300932-217967569.1604300932

Martin, V., Millet, G. Y., Martin, A., Deley, G., & Lattier, G. (2004). Assessment of low-frequency fatigue with two methods of electrical stimulation. *Journal of Applied Physiology*, 97(5), 1923–1929.

McNulty, K. L., Elliott-Sale, K. J., Dolan, E., Swinton, P. A., Ansdell, P., Goodall, S., Thomas, K., & Hicks, K. M. (2020). The Effects of Menstrual Cycle Phase on Exercise Performance in Eumenorrheic Women: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 50(10), 1813–1827.

Meignié, A., Duclos, M., Carling, C., Orhant, E., Provost, P., Toussaint, J.-F., & Antero, J. (2021). The Effects of Menstrual Cycle Phase on Elite Athlete Performance: A Critical and Systematic Review. *Frontiers in Physiology*, 12.

Millet, G. Y. (2011). Can neuromuscular fatigue explain running strategies and performance in ultra-marathons?: The flush model. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 41(6), 489–506.

Ravier, G., Dury, J., Grevillot, J., Bouzigon, R., & Michel, F. (2023). Acute Neuromuscular Alterations of Ankle Evertors Induced by Short Trail Run. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, in press.

Ravier, G., Marcel-Millet, P., Fostel, C., & Baradat, E. (2022). Post-Exercise Cold- and Contrasting-Water Immersion Effects on Heart Rate Variability Recovery in International Handball Female Players. *Journal of Human Kinetics*, 81(1), 109–122. <https://doi.org/10.2478/hukin-2022-0010>

Tarnopolsky, M. A. (2008). Sex Differences in Exercise Metabolism and the Role of 17-Beta Estradiol. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(4), 648.

Temesi, J., Arnal, P. J., Rupp, T., Féasson, L., Cartier, R., Gergelé, L., Verges, S., Martin, V., & Millet, G. Y. (2015). Are Females More Resistant to Extreme Neuromuscular Fatigue? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(7), 1372–1382.

- Financement du projet – partie Recherche (montants acquis, type de contrat)

Dispositif d'évaluation	Source de financement
Dispositif Electromyographique	Acquis Laboratoire C3S
Dynamomètres	Acquis Laboratoire C3S
Dispositif NIRS	Acquis Laboratoire C3S
Dispositif de mesure de raideur musculaire	Acquis Laboratoire C3S
Ergomètre	Acquis Plateforme commune LAME
Capteurs corporels (fréquence cardiaque et respiratoire, centrale inertielle)	Acquis Laboratoire C3S

- connaissances et compétences requises

Le candidat pour cette thèse doit faire état de connaissances dans les domaines de la physiologie de l'exercice/sport. Il devra montrer un intérêt particulier pour l'étude (outils et méthodes d'investigation) de la performance, de l'activité neuromusculaire et de la réponse physiologique à l'effort.

Les études expérimentales réalisées dans le cadre du master, comme la participation à des protocoles de recherche impliquant des athlètes féminines seront valorisées.

Dans un souci de faciliter le recrutement de sujets volontaires, l'expérience du candidat en entraînement sportif d'athlètes féminines sera appréciée.

Ce projet s'appuyant sur une collaboration active entre le laboratoire et des structures sportives, le candidat devra montrer de grandes capacités d'organisation, des qualités pour la communication et un intérêt particulier pour le travail en équipe.

Résumé en français et anglais (limité chacun à 1800 caractères)

La recherche en sciences du sport et de l'exercice présente une réelle disparité entre homme et femme concernant la population expérimentale qui demeure très largement masculine. Si les connaissances des adaptations à l'exercice et à la récupération ont largement évolué ces dernières années, l'impact des différences sexuelles est sous étudié.

Une revue de littérature récente portant sur l'impact du cycle menstruel (CM) sur la performance physique rapporte que les athlètes féminines perçoivent de manière systématique une altération de leurs performances sportives au début de la phase folliculaire et à la fin de phase lutéale. Pourtant, seulement 1% des études s'intéressant à la performance chez l'athlète féminine a pris en compte au moins une phase du CM. Au cours d'un exercice physique, un grand nombre de paramètres physiologiques (fonction cardiorespiratoire, thermorégulation, raideur musculo-tendineuse) est potentiellement affecté par les variations d'œstrogène et de progestérone du CM. Toutefois, la relation entre les phases du CM et les paramètres psycho-physiologiques (neuromusculaires, saturation musculaire en oxygène, cardiorespiratoires, système nerveux autonome) déterminants de la performance sportive chez l'athlète très entraînée n'a fait l'objet que d'un nombre limité d'études. Dans ce contexte, le premier objectif de ce projet de thèse est d'identifier l'impact d'au moins quatre phases du CM sur la réponse mécanique, l'activité neuromusculaire et la réponse physiologique au cours et en récupération d'un exercice intermittent à haute intensité. Le deuxième objectif est d'analyser le bénéfice de l'immersion sur la récupération du système nerveux autonome cardiaque au cours d'au moins deux phases du CM. Enfin, le troisième objectif est d'étudier la différence entre homme et femme concernant la stratégie de gestion d'effort et l'apparition de la fatigue neuromusculaire au cours d'un exercice sportif prolongé.

Ces travaux visent une meilleure compréhension de la relation entre les phases du CM et la performance afin de répondre à un enjeu sociétal de santé et d'évolution des représentations de l'entraîneur sportif sur la spécificité de l'athlète féminine. A terme, ces travaux visent l'optimisation de l'entraînement sportif et de la stratégie de récupération chez l'athlète féminine.

Exercise and sport sciences shows a disparity between men and women concerning the experimental population which remains very largely male. Only 6% of studies are specifically design for women. In recent decades, knowledge of the adaptations to exercise and post-exercise recovery have greatly evolved. However, the impact of sex differences on exercise physiology and recovery are understudied in the literature.

A recent literature review on the impact of the menstrual cycle (MC) on physical performance reported that female athletes systematically perceived an alteration in their sports performance at the beginning of the follicular phase and at the end of the luteal

phase. However, only 1% of studies focusing on sports performance in elite female athletes considered at least one phase of CM. During physical exercise, many physiological parameters involved (cardiorespiratory function, thermoregulation, musculotendinous stiffness) are potentially affected by variations in oestrogen and progesterone occurring during the CM. However, the relationship between the phases of the CM and the determinant psycho-physiological parameters (for instance, neuromuscular, muscular oxygen saturation, cardiorespiratory, autonomic nervous system) of sports performance in the highly trained athlete, has not been studied. In this context, the first objective of this thesis project is to identify the impact of at least four phases of the CM on the mechanical power developed, the neuromuscular activity and the physiological response during and following a high intensity intermittent exercise. The second objective of the thesis project is to analyze the benefit of immersion on the recovery of the cardiac autonomic nervous system during at least two phases of CM. Finally, the third objective is to specify the difference between men and women concerning the motivation-regulation strategy and the appearance of neuromuscular fatigue during prolonged sports exercise.

This research aims to better understand the relationship between the phases of CM and performance to respond an important societal issue, comprising health and sport trainer management of the female athletes. Ultimately, this work aims to optimize sports training and recovery strategy in female athletes.

Préciser le domaine de compétence dans la liste ci-dessous (2 choix possibles maximum – ne pas modifier les intitulés : ils sont imposés par certains sites web) :

Non défini

Biochimie

Agronomie

Biologie

Chimie

Ecologie, Environnement

Informatique, électronique

Mathématiques

Psychologie, neurosciences

Physique

Sociologie, anthropologie, sciences de l'éducation

Santé, médecine humaine, vétérinaire

Sciences de la donnée (stockage, sécurité, mesure, analyse)

Sciences de l'ingénieur

Terre, univers, espace

Mots clés : féminin, exercice, performance, récupération, cycle menstruel